

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto técnico previo a la obtención del título de
INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA POTABLE CON UNA CAPACIDAD DE 60 L/DÍA, MEDIANTE EL USO DE ENERGÍA SOLAR PARA UNA VIVIENDA UNIPERSONAL.

AUTORES:

CAJO ANDALUZ CARLOS ADRIAN

TACO MORALES JAIRO DANIEL

TUTOR:

ING. QUITIAQUEZ SARZOSA WILLIAM GIOVANNY MSc.

Quito, julio 2017

Cesión de derechos de autor

Nosotros **Cajo Andaluz Carlos Adrian y Taco Morales Jairo Daniel**, con documento de identificación N° 0201963980 y 1722387543, se manifiesta nuestra voluntad y se cede a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: **Diseño y construcción de un sistema de calentamiento de agua potable con una capacidad de 60 l/día, mediante el uso de energía solar para una vivienda unipersonal**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que se hace la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
Cajo Andaluz Carlos Adrian
C.C. 0201963980
17 de Julio del 2017

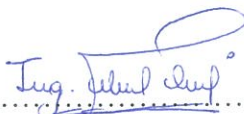


.....
Taco Morales Jairo Daniel
C.C. 1722387543
17 de Julio del 2017

Declaratoria de coautoría del docente tutor/a

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación Diseño y construcción de un sistema de calentamiento de agua potable con una capacidad de 60 l/día, mediante el uso de energía solar para una vivienda unipersonal realizado por Carlos Adrián Cajo Andaluz y Jairo Daniel Taco Morales, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, julio 2017



.....
Ing. William Giovanny Quitiaquez Sarzosa MSc.
1721609764

Dedicatoria

Dedico el trabajo realizado a Dios por brindarnos vida y salud.

A mis padres por su guía y apoyo incondicional al infundir en mí principios y valores para ser una persona de bien.

A mis hermanas que han sido de gran apoyo no dejando de desvanecer mis sueños y metas.

A mi pareja por brindarme su apoyo incondicional y las personas que me brindan su apoyo para poder superarme como persona y en el ámbito profesional.

Jairo

Dedico el trabajo realizado a Dios por brindarnos vida y salud.

A mis padres por sus consejos, su apoyo incondicional e inculcarme valores, los cuales en conjunto fueron trascendentales para lograr una de las metas en mi vida.

A mi hermana y sobrina por día a día apoyarme, animarme y ser mi inspiración para seguir adelante en la búsqueda de cumplir mis metas. A mi hermano que desde el cielo me cuida y ha sido un ejemplo, pilar fundamental en el transcurso de mi vida.

Adrian

Agradecimiento

Un sincero agradecimiento a la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA a la “Carrera de Ingeniería Mecánica”, por brindarnos la oportunidad recibir una formación técnica y humana integral.

A los educadores que fueron una parte fundamental en este camino que ingresa en la recta final con su dedicación y esfuerzo al impartir su conocimiento que se convierte en el eje principal para poder culminar nuestra formación técnica.

Manifestamos nuestro más profundo agradecimiento al Ing. William Quitiaquez por guiar en la realización del trabajo de investigación, con su paciencia y dedicación inculcó en nosotros el sentido de investigación y responsabilidad.

Índice

Cesión de derechos de autor.....	I
Declaratoria de coautoría del docente tutor/a.....	II
Dedicatoria	III
Agradecimiento	IV
Índice de Tablas	VIII
Índice de figuras	X
Índice de anexos.....	XII
Introducción	1
OBJETIVOS	3
CAPÍTULO I.....	4
1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.2 INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA SOLAR.....	5
1.3 ENERGÍA SOLAR EN EL ECUADOR.....	6
1.4 TECNOLOGÍAS SOLARES	11
1.4.1 La energía solar pasiva	11
1.4.2 La energía solar activa	12
1.5 CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA	15
1.5.1 Calentadores de agua a gas	15
1.5.2 Calentamiento de aguas eléctricas	18
1.5.3 Calentamiento de agua con energía solar	19
1.6 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	22
1.6.1 Identificación de necesidades	23
1.6.2 Elección de la mejor alternativa para el diseño del sistema de calentamiento de agua sanitaria.....	24
1.7 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO	26
CAPÍTULO II	27
2.1 DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMA SOLAR TÉRMICO (SST)	28
2.1.1 Radiación solar	28
2.1.2 Número de horas mensuales de sol.....	34
2.2 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE RESERVA DE AGUA CALIENTE SANITARIA	36
2.2.1 Condiciones mínimas de suministro	36

2.2.2	Caudal instantáneo	36
2.2.3	Demanda de ACS.....	39
2.2.4	Energía demandada para ACS	42
2.3	DISEÑO DEL COLECTOR SOLAR TERMOSIFÓN.....	42
2.3.1	Ganancia de calor útil de un colector.....	42
2.3.2	Área del colector	43
2.3.3	Eficiencia global del calentador.....	44
2.3.4	Balance de energía en el calentador solar	44
2.3.5	Resolución de ecuaciones	53
2.4	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO	61
CAPÍTULO III.....		62
3.1	PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN.....	62
3.2	PROCESO DE ENSAMBLAJE.....	63
3.2.1	Tanque acumulador.....	63
3.2.2	Tubos de vacío	63
3.2.3	Estructura de la base	64
3.2.4	Inserción de tubos de vacío.....	66
3.2.5	Instalación de bomba agua de apoyo, tuberías de succión y descarga	66
3.3	PRUEBAS DEL SISTEMA	67
3.3.1	Inspección de fugas en el sistema de calentamiento de agua	67
3.3.2	Inspección de fugas en las instalaciones.....	68
3.3.3	Inspección de estructura base	68
3.3.4	Toma de datos del sistema de calentamiento de agua	69
3.3.5	Análisis de resultados	71
3.3.6	Gráfica de datos del sistema de calentamiento de agua.....	72
3.3.7	Análisis de resultados	77
3.4	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO	78
CAPÍTULO IV.....		79
4.1	COSTOS DE INVERSIÓN.....	79
4.1.1	Costo de equipo y materiales	79
4.1.2	Costos de mano de obra.....	79
4.1.3	Costos indirectos.....	80
4.1.4	Costos totales	80

4.2	ESTUDIO FINANCIERO DEL SISTEMA SOLAR ATMOSFÉRICO	
	TERMOSIFÓN	80
4.2.1	Costos de mantenimiento y operación	81
4.2.2	Valor Actual Neto (VAN).....	85
4.2.3	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	86
4.2.4	Período de recuperación de la inversión	87
4.2.5	Relación Costo-Beneficio	88
4.3	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO	89
	CONCLUSIONES	90
	RECOMENDACIONES	91
	BIBLIOGRAFÍA	92
	ANEXOS	98

Índice de Tablas

Tabla 1 Radiación global diaria	8
Tabla 2 Pliego tarifario vigente	9
Tabla 3 Impacto ambiental de las diferentes energías	24
Tabla 4 Análisis cuantitativo de alternativas.	25
Tabla 5 Parámetros del SST	27
Tabla 6 Parámetros de la radiación solar	29
Tabla 7 Parámetros relativos a la altitud del piso	32
Tabla 8 Promedio radiación global en Ecuador	34
Tabla 9 Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato	37
Tabla 10 Caudales instantáneos en aparatos y secciones mínimas de tuberías para la conexión de los mismos.	38
Tabla 11 Cálculo de caudales y aparatos sanitarios.	38
Tabla 12 Demanda de referencia a 60° C	40
Tabla 13 Demanda de consumo de agua cada mes	57
Tabla 14 Inspección de fugas en el sistema solar atmosférico	68
Tabla 16 Inspección de fugas en las instalaciones	68
Tabla 16 Inspección de estructura base.....	69
Tabla 17 Costo de equipos y materiales.....	79
Tabla 18 Costo de mano de obra.....	79
Tabla 19 Costos indirectos	80
Tabla 20 Costos totales	80
Tabla 21 Costos de mantenimiento del termosifón.....	81
Tabla 22 Costo consumo de agua potable en el sistema termosifón.....	82
Tabla 23 Inflación en Ecuador	83
Tabla 24 Costo de sistema termosifón proyectado a inflación dentro de 5 años	83
Tabla 25 Ingresos por ahorro de energía.....	84
Tabla 26 Ingresos por ahorro de compra GLP	84
Tabla 27 Flujo neto de caja	85
Tabla 28 Cálculo del VAN.....	86
Tabla 29. Flujo de caja acumulado	87

Tabla 30. Flujos de caja ingresos y costos88

Índice de figuras

Figura 1. El sol	6
Figura 2. Declinación solar	7
Figura 3. Consumo de energía por sectores	10
Figura 4. Variación anual de la demanda de energía	11
Figura 5. Tipos de energía solar	12
Figura 6. Energía solar fotovoltaica	13
Figura 7. Captador solar de alta temperatura	14
Figura 8. Captador solar de temperatura media	14
Figura 9. Captador solar de baja temperatura	15
Figura 10. Calentador instantáneo o de paso	16
Figura 11. Calentadores acumuladores.	17
Figura 12. Calentador eléctrico de punto.	18
Figura 13 Calentador eléctrico de paso	19
Figura 14. Sistema termosifón	22
Figura 15 Energía usada en el sector residencial	23
Figura 16. Promedio de horas mensuales de sol	35
Figura 17. Duración de horas del sol.	36
Figura 18. Distribución de temperatura por meses	41
Figura 19. Partes y pérdidas de calor del calentador solar termosifón.....	45
Figura 20. Diagrama de balance de energía de un calentador solar	46
Figura 21.Circuito de resistencias.	48
Figura 22. Tubos de vacío.....	63
Figura 23. Láminas de Al y CU dentro de los tubos.....	64
Figura 24. Estructura base de acero inoxidable.	64
Figura 25. Soporte inferior de los tubos de vacío unido por pernos y tuercas.....	65
Figura 26. Estructura base completa de acero inoxidable.....	65
Figura 27. Inserción de tubos de vacío en tanque acumulador y base inferior.	66
Figura 28. Conexión de bomba de apoyo, tuberías de succión y descarga.....	67
Figura 29. Conexión a las tuberías del domicilio.....	67
Figura 30. Datos de temperaturas en el tanque acumulador.	69
Figura 31. Datos de temperaturas en el fregadero de cocina.	70
Figura 32. Datos de temperaturas en ducha.	71

Figura 33. Tanque acumulador temperatura vs tiempo (07- Jun -2017 a 16- Jun - 2017).	73
Figura 34. Tanque acumulador temperatura vs tiempo (17- Jun -2017 a 26- Jun - 2017).	73
Figura 36. Tanque acumulador temperatura vs tiempo (27- Jun -2017 a 04- Jul - 2017).	74
Figura 37. Fregadero de cocina temperatura vs tiempo (07- Jun -2017 a 16- Jun - 2017).	75
Figura 38. Fregadero de cocina temperatura vs tiempo (17- Jun -2017 a 26- Jun - 2017).	75
Figura 39. Fregadero de cocina temperatura vs tiempo (27- Jun -2017 a 04- Jul - 2017).	76
Figura 40. Ducha temperatura vs tiempo (07- Jun -2017 a 16- Jun -2017).	76
Figura 41. Ducha temperatura vs tiempo (17- Jun -2017 a 26- Jun -2017).	77
Figura 42. Ducha Temperatura vs Tiempo (27- Jun -2017 a 04- Jul -2017).	77

Índice de anexos

Anexo A Comportamiento individual de la temperatura del agua para ACS.	98
Anexo B Datos técnico instrumento de medición.	126
Anexo C Tablas de conductividad térmica y transferencia por convección.	128
Anexo D Coeficiente típicos de transferencia de calor por convección.	129
Anexo E Gráfico radiación vs tiempo (Marzo 2017).	130
Anexo F Gráfico radiación vs tiempo (Abril 2017).	130
Anexo G Gráfico radiación vs tiempo (Mayo 2017).	131
Anexo H Planos.	132

Nomenclatura

(β) Ángulo de altitud solar

$\frac{dU}{dt}$ Almacenamiento de energía en el colector

h Altura del colector solar

(γ) Ángulo azimut de cara

(δ) Ángulo de declinación solar

(ω) Ángulo de hora solar

(θ_z) Ángulo de incidencia solar

(α) Ángulo inclinación superficie

(φ) Ángulo Latitud

A_c Área del colector solar

A_{cx} Área externa de las conexiones

A_{da} Área externa del depósito de almacenamiento

C_p Calor específico del agua

q_{cal} Calor utilizado para calentar agua

•

m Cantidad de agua a calentar

Q_c Caudal simultaneo

R_2 Coeficiente convectivo de transferencia de calor entre la placa de absorción y el ambiente

U_l Coeficiente global de pérdida de calor de la placa de colector

U_{da} Coeficiente global de pérdidas de calor en el depósito de almacenamiento de agua

U_{cx} Coeficiente global de pérdidas de calor en las conexiones

U_L Coeficiente total de transferencia de calor

q_x Conducción de calor en el sentido del eje x

U_{fo} Conductancia en la parte inferior del colector
 U_l Conductancia en la parte lateral del colector
 U_{sup} Conductancia en la parte superior del colector
 R_1 Conductividad del aislante
 k_a' Conductividad del aislante lateral
 k_a Conductividad térmica del poliuretano
 ξ Constante de Boltzman
 D_{ACS} Demanda de agua caliente sanitaria
 ρ_a Densidad del agua
 η_c Eficiencia del colector solar
 E_r Energía demandada para calentamiento de agua sanitaria
 l' Espesor del aislante
 $(\tau\alpha)$ Factor de corrección
 F_{dif} Factor difuso del cielo
 Q_{util} Ganancia de calor útil en un colector
 E_e Intensidad de radiación
 I_t Irradiación total
 (n) Número del día
 r_0, r_1, r_k Parámetros relativos con la altitud del suelo
 q_{es} Pérdidas de calor en el colector solar
 q_{da} Pérdidas de calor en el dispositivo de almacenamiento
 q_{cx} Pérdidas de calor en las conexiones del colector solar
 P Perímetro del colector solar
 E_{dif} Radiación difusa
 E_{dir} Radiación directa
 G_t Radiación global

G Radiación solar

$G_{solarin}$ Radiación solar promedio

R_{dif} Relación entre la radiación difusa del cielo sobre una superficie vertical

R_5 Resistencia térmica entre la cubierta exterior y el medio ambiente

R_4 Resistencia térmica entre la cubierta exterior y la cubierta interior

R_3 Resistencia térmica entre la placa de absorción y la cubierta interior

T_{red} Temperatura del agua desde la red pública

T_s Temperatura del agua en punto de consumo

T_a Temperatura del aire ambiente

T_{fda} Temperatura promedio del agua dentro del depósito de almacenamiento

T_{cx} Temperatura promedio del agua dentro del depósito de las conexiones

τ_t Transmitancia atmosférica para la radiación del haz

V Volumen necesario de agua caliente sanitaria

Resumen

La energía solar es uno de los recursos más confiables para garantizar la seguridad energética. Se conoce que la cantidad de energía solar que alcanza la superficie de la tierra podría suministrar todas las necesidades energéticas del planeta. Este proyecto técnico propone la generación de agua caliente sanitaria asistida con energía solar para el calentamiento de agua, desarrollando los cálculos correspondientes para obtener la mayor eficiencia la máquina a realizar.

En las investigaciones previas se muestra que los calentadores solares térmicos tipo termosifón tienen eficiencias muy altas. En el sistema de termosifón instalado se determinó que con un área de 1.3 m^2 cubre la necesidad de 60 l / día. El 30 de junio del presente año alcanza temperatura de 91°C , por un lapso de 4 horas por lo cual en el último punto de consumo se obtiene una temperatura mayor a los 60°C y la temperatura de 53°C se registra como la más baja en el 6^{to} día de funcionamiento.

Una vez realizada las pruebas del sistema termosifón se realiza un análisis de costos, que da como resultado que el sistema es viable con una inversión de baja en comparación de la rentabilidad del sistema. Se determina que el sistema en 4 años y 2 meses empieza a generar ganancias, adicional los costos de mantenimiento son bajos por lo que la durabilidad del sistema es prolongada.

Palabras Claves: Energía, agua, caliente, sanitaria, calentadores, termosifón, temperatura, consumo.

Abstract

Solar energy is one of the most reliable resources to ensure energy security. It's known that the amount of solar energy that reaches the surface of the earth could supply all the energy needs of the planet. This technical project proposes the generation of sanitary hot water associated with solar energy for the heating of water, developing the corresponding calculations to obtain the greatest efficiency the machine to realize.

Previous research has shown that thermosiphon solar heaters have very high efficiencies since. In the installed thermosiphon system, it was determined that with an area of 1.3 m covers the need of 60 l / day. On June 30 this year reaches a temperature of 91 °C for a period of 4 hours, whereby at the last point of consumption a temperature higher than 60 °C is obtained and the temperature of 53 °C is recorded as the Lowest on the 6th day of operation.

Once the thermosiphon tests have been performed, a cost analysis is performed that results in the system being viable with a low investment compared to the system profitability. It is determined that the system in 4 years and 2 months begins to generate profits, additional maintenance the low costs so the system durability is prolonged.

Keywords: Energy, water, hot, sanitary, heaters, thermosiphon, temperature, consumption.

Introducción

La finalidad del presente proyecto técnico es ayudar a mitigar la contaminación ambiental aliñándose con el objetivo No. 11 del Plan Nacional del Buen Vivir Implementado en Ecuador: “Reestructurar la matriz energética bajo criterios de transformación de la matriz productiva, inclusión, calidad, soberanía energética y sustentabilidad, con incremento de la participación de energía renovable” [2], siendo una de las metas alcanzar el 60% de potencia instalada renovable.

Según datos tabulados existe un alto índice en el consumo energético en el sector de transporte con lo cual se consume diésel y gasolina, por lo cual al ser combustibles se queman para producir energía y esto conlleva a la contaminación del ambiente. Es necesario empezar a optimizar los recursos renovables como el sol. Debido a que su correcto uso en un tiempo determinado podrá generar independencia energética y se podría implementar a la energía solar, como una de las principales fuentes del país en conjunto con el petróleo y la hidroelectricidad [3].

Como se menciona en Calelec [3] el utilizar agua caliente es parte de la vida diaria, y esta brinda una serie de beneficios que se ignora.

El tomar una ducha con agua caliente provoca una estimulación en el cuerpo y libera endorfinas. Hormonas emitidas por el cerebro que causan la sensación de felicidad, es por esta razón que resuelta muy placentero y confortable bañarse con agua caliente [3]. El calentar agua sirve como un tratamiento para los problemas ortopédicos que pueden ser: artritis, reumatoide y los músculos rígidos [5].

El vapor generado por el agua caliente que aspira el cuerpo es capaz de eliminar toxinas, bacterias y distintos virus que son los causantes de enfermedades como la rinitis y gripe. Ayuda limpiando la piel y mejorando la congestión sanguínea [3, 4].

La legionelosis es una enfermedad causada por legionella que es una forma severa de neumonía, una bacteria que se encuentra en ambientes acuáticos naturales y artificiales, en sistemas de abastecimiento de agua de las ciudades y a través de la red

de distribución, se incorpora a las instalaciones de agua doméstica o a aquellos equipamientos que requieren agua para su funcionamiento, como los sistemas de refrigeración. [6, 7]

Mencionan Pañella *et al.* [8], que la legionella se desarrolla en ambientes de estancamiento de agua encontrados a una temperatura de $(25-30) ^\circ C$, por lo que se recomienda que en sistemas de acumulación de agua, la temperatura mínima, para evitar el desarrollo de la bacteria sea de $60 ^\circ C$. El agua caliente también es utilizada para la limpieza del hogar por razones que ayuda a la desaparición de bacterias [3].

OBJETIVOS

Objetivo General

Diseñar y construir un sistema de calentamiento de agua potable que utilice energía solar con una capacidad de 60 l/día para la reducción del consumo de energía eléctrica.

Objetivos Específicos

- Revisar investigaciones previas sobre los diferentes tipos de sistemas para el calentamiento de agua potable.
- Determinar los parámetros necesarios, para la posterior construcción de un sistema de calentamiento de agua potable.
- Analizar los resultados obtenidos en el proceso con el fin de verificar el cambio de temperatura que se produce en el agua.
- Analizar los costos con respecto a los beneficios del sistema para realizar una comparación con el costo en el uso de energía eléctrica o combustibles para el calentamiento de agua potable.

CAPÍTULO I

1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En 1909, en Los Ángeles, el Ingeniero William J. Bailey comenzó a producir uno de los primeros calentadores solares de la historia, un colector solar para la producción de agua caliente domiciliaria, tal y como se conoce en la actualidad. La novedad principal que mostró este calentador fue que el suministro de agua se realizaba durante la noche también [9].

Un sistema que opera con subenfriamiento se ha realizado para demostrar que existe un alto margen de mejora para el calentamiento de agua sanitaria. Presentando 2 formas diferentes de subenfriamiento las cuales son: subenfriamiento que se encuentra alejado del condensador y subenfriamiento dentro del condensador, dando como resultados que el subenfriamiento dentro del condensador es capaz de producir hasta 90° C y un coeficiente de rendimiento 20 % más alto en comparación de la otra alternativa [10].

Un sistema de calentamiento de agua el cual utiliza una bomba de calor junto a colectores solares térmicos fotovoltaicos fue ejecutado con la finalidad de realizar una mejora en la producción de energía, el sistema desarrollado mostró un aumento en el rendimiento del 37% hasta un 68%, el posicionamiento de los paneles solares térmicos fotovoltaicos es de tipo cascada [11].

Según Chen *et al.* [12], se propone un sistema de bomba de calor termo solar en el cual se realiza una combinación de colectores fotovoltaicos junto con una bomba de calor que tiene como objetivo la generación de electricidad y energía térmica al mismo tiempo, en donde se optimiza al máximo el número de colectores solares mediante modelos matemáticos comprobados. Se estudian diversos modelos de trabajo los cuales dan como resultado que existe aumento del coeficiente de rendimiento (COP) en la bomba de calor cuando existe más radiación solar.

Un sistema de ACS de doble fuente es elaborado con la integración de energía solar fotovoltaica / térmica, donde se desarrollan estudios en modo agua-agua y modo aire-agua. Dando como resultado que el uso del evaporador en el lado del agua afecta al funcionamiento del panel fotovoltaico / térmico llegando a disminuir hasta 45 °C, pero la eficiencia con la cual se realiza la conversión eléctrica incrementa en un 10.3% [13].

Según Juanicó *et al.* [14], al realizar un análisis de colectores solares basados en una manguera la cual para ambientes tropicales y templados sería lo óptimo para el ACS debido a que produce 150 l a una temperatura mínima de 45 °C. La inclinación de los tejados depende del diámetro de la manguera de conexión entre los tubos de vacíos, por lo cual al variar del diámetro de manguera mejora la eficiencia del sistema hasta en un 20% más de otros sistemas de ACS.

Los sistemas de ACS implementados en South África han ayudado a la reducción de emisión de CO₂, adicional han reducido en un 27% el consumo energético en las viviendas que han implementado los sistemas solares, los sistemas de termosifón han sido novedosos en South África por lo cual según la investigación realizada tienen una tendencia de 30% de incremento en las instalaciones [15].

Un sistema de calentamiento de agua sanitaria basado en un calentador de agua de acumulación integrado con acumulador de agua, se utilizó un Concentrador Parabólico Compuesto (CPC) que se encontraba a una inclinación 64° y apoyado sobre una cuna de madera arrojó datos de rendimiento térmico de un 38%, alcanzando una temperatura máxima de 53°C en un lapso de 1500 h, la intensidad solar se pudo determinar que incrementa desde las 11 am hasta las 13:30 pm [16].

1.2 INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA SOLAR

La energía solar es la principal fuente de calor hacia el planeta, mediante el cual se pueden producir ciclos de vida [17]. La energía solar es una de las principales fuentes de energía renovable con la cual se puede reducir la contaminación ambiental que aqueja al planeta en la actualidad [18].

La que produce el sol puede ser absorbida en 1 año y se podría considerar con un valor equivalente a 20 veces la energía de combustibles fósiles que se almacena en todo el mundo y 10000 veces mayor al consumo de los presentes días [18].

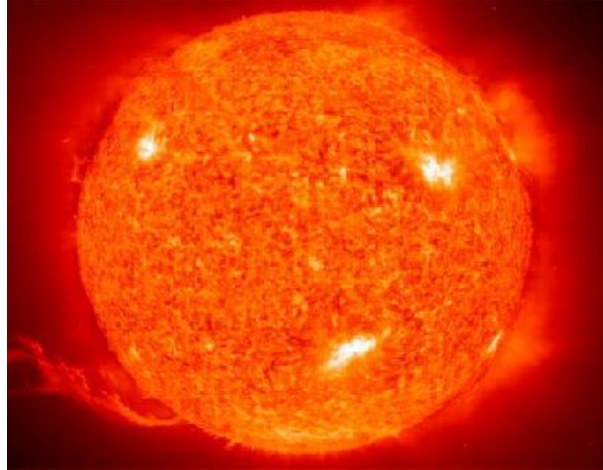


Figura 1. El sol [19].

1.3 ENERGÍA SOLAR EN EL ECUADOR

La energía solar es energía renovable y se la considera energía limpia, lo que se conoce como energía verde, la radiación solar incidente en la tierra se puede aprovechar con la implementación de sistemas que no usen energía eléctrica para la producción de ACS. [18].

El calor se logra mediante los captadores o colectores térmicos y la electricidad, a través de los llamados módulos o celdas fotovoltaicas [18]. La energía renovable juega un papel crucial para la reducción de emisiones de gases y esto no conlleve a un efecto invernadero, con el uso de energía solar se podrá llegar a este objetivo [20].

La posición geográfica del país es privilegiada para el aprovechamiento de la energía solar, debido a que el país cuenta con la línea ecuatorial que divide a en dos hemisferios al planeta, siendo casi un ángulo de 90° con el cual la radiación llega a Ecuador. Se estima que esta radiación no cambia durante el año ya que tiene un ángulo de incidencia constante, el cual se encuentra inclinado aproximadamente 23.5° de la normal del plano denominado “plano eclíptico” [21].

En la siguiente grafica se muestra un plano eclíptico para una mejor referenciación.

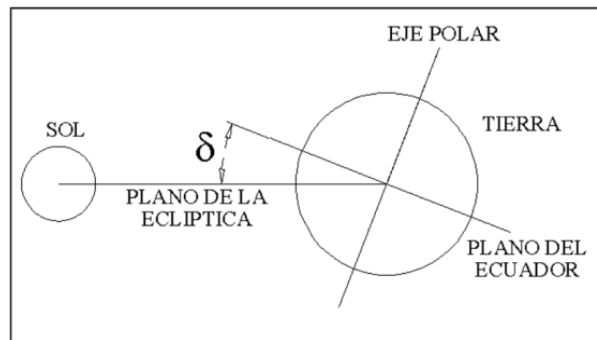


Figura 2. Declinación solar [22]

Según mediciones realizadas mediante el satélite de la NASA, Surface Meteorology and Solar Energy, la radiación solar global diaria en $kW \cdot h \cdot m^{-2}$ por día promedio para la ciudad de Quito es $4.25 kW \cdot h \cdot m^{-2}$; en la tabla que se muestra a continuación se detallan los valores para las ciudades de Quito, La Libertad y Berlín, en función de cada uno de los meses del año [22].

La tabla indica la radiación global diaria que se producen para cada uno de los meses de un cierto año, en las 3 distintas partes del mundo y un promedio estimado anual de radiación que reciben [22].

En la siguiente tabla se muestra la radiación global en diversas ubicaciones en el mundo.

Tabla 1 Radiación global diaria [23]

Radiación solar global diaria en $\left(\frac{kW \cdot h}{m^2 \cdot día} \right)$; diferentes ciudades			
MES	La Libertad	Quito	Berlín
Enero	5.01	4.14	0.79
Febrero	6.03	4.25	1.48
Marzo	6.11	4.55	2.41
Abril	5.75	4.33	3.75
Mayo	5.29	4.12	4.76
Junio	5.05	4.02	4.80
Julio	5.14	4.27	4.76
Agosto	5.17	4.46	4.18
Septiembre	5.25	4.27	2.76
Octubre	5.46	4.24	1.61
Noviembre	5.20	4.30	0.85
Diciembre	4.99	3.98	0.61
PROMEDIO	5.36	4.25	2.73

Según la tabla se observa que en la ciudad de Quito se dispone de $4.25 kW \cdot h \cdot m^{-2}$, por día de radiación solar en promedio. De forma comparativa, en algunos países de Europa no supera los $2 kW \cdot h \cdot m^{-2}$ [23].

Los datos acerca de familias que utilizan sistema eléctrico para el calentamiento de agua sanitaria no es específico, las estadísticas reportan transacciones de 313000 duchas eléctricas en el año 2007 en el Ecuador [24, 23]. Dado un gran porcentaje de familias especialmente en la Sierra ecuatoriana que no disponen de combustibles como gas licuado de petróleo para calefones tienen una ducha eléctrica.

De acuerdo con estimaciones de la Empresa Eléctrica Quito, el consumo eléctrico por uso de ducha eléctrica de una familia promedio es de $55.6 kW \cdot h$ por mes.

En la tabla que se muestra a continuación se indica el precio que implica el consumo de cada $kW \cdot h$ en un hogar.

Tabla 2 Pliego tarifario vigente [24]

Bloque de consumo ($kW \cdot h$)	Cargos por consumo (USD)	$kW \cdot h$ de consumo en el mes
0-50	0.068	Por cada uno de los siguientes $kW \cdot h$ de consumo en el mes
51-100	0.071	50
101-130	0.073	30
131-150	0.073	20
151-200	0.080	50
201-250	0.087	50
251-300	0.089	50
301-350	0.089	50
351-500	0.089	150
501-700	0.1185	200
701-1000	0.1350	300
1001-1500	0.1609	500
1501-2500	0.2652	1000
2501-3500	0.4260	100
3501 y superior	0.6712	10

En un análisis efectuado por la Empresa Eléctrica hasta el 2006 se estima que en una vivienda el 10% de la energía total consumida por dicha familia en el mes es destinada al ACS. Por tanto, si se realiza la relación entre el promedio consumido de $55,6 \text{ } kW \cdot h$ y el consumo de bloque da como resultado alrededor de USD 4 que una familia paga para ACS.

Según datos reportados al Ministerio de Electricidad y Energía Renovables (MEER), para el año 2012, la composición del consumo total de energía por sectores a nivel nacional es: residencial 36,79%, industrial 31,86%, comercial 21,85%, asistencia social 2,44% y otros 7,07%. De lo que se desprende que las medidas de eficiencia energética deben enfocarse principalmente a la reducción de consumo de los sectores residencial, industrial y comercial, sin descuidar los otros sectores [25].

El consumo del sector de transporte representa 49% del total de la demanda en el 2013 Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos [26]. La industria, el sector residencial y los sectores comerciales, servicios y público demandan el 18%, 12% y 4% respectivamente.

En la gráfica se muestran los porcentajes del consumo de energía en los diversos sectores que existe en el país.

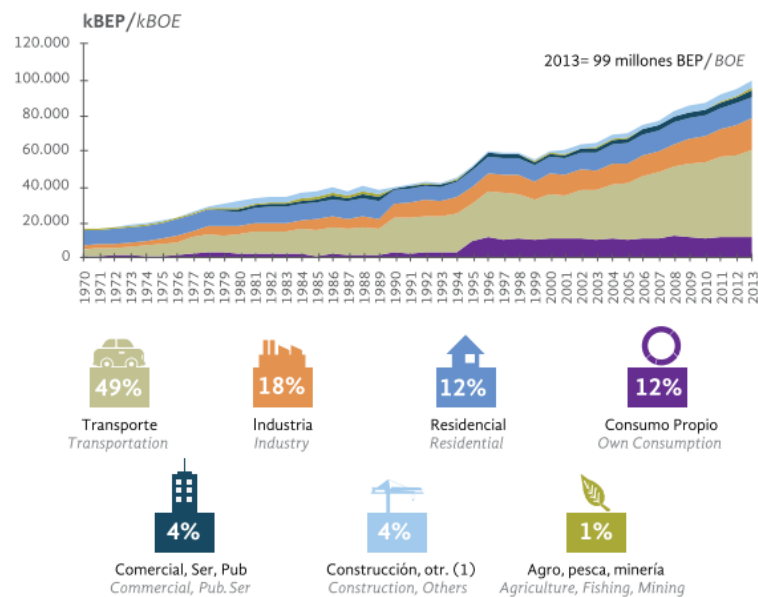


Figura 3. Consumo de energía por sectores [26]

El incremento en el consumo total de energía se ha elevado en un 11%. Tanto los sectores de transporte y el sector industrial crecieron han tenido una tasa de crecimiento del 6.9% y 5.3% respectivamente, en tanto que en el sector residencial se muestra una tasa de crecimiento de 4.2% [27].

En la Figura 4 se muestra la demanda anual de energía en los diversos sectores del Ecuador.

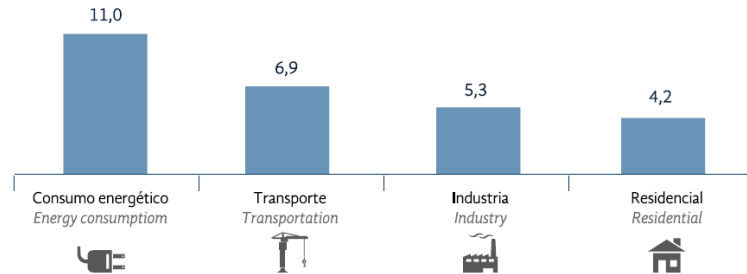


Figura 4. Variación anual de la demanda de energía [26]

1.4 TECNOLOGÍAS SOLARES

En la actualidad las tecnologías solares son de gran importancia para la mitigación de la contaminación ambiental, dichas tecnologías toman su división de acuerdo a la captación, conversión y distribución de la energía solar [19]. Por lo cual las divisiones de estas tecnologías son: pasivo y activa.

1.4.1 La energía solar pasiva

La energía solar pasiva pretende aprovechar la radiación en forma directa [19]. Los elementos más importantes para lograr este aprovechamiento son: fachadas dobles, orientación hacia el sur, por motivo que la tierra en relación al sol gira de este a oeste y de esta manera se logra el mayor aprovechamiento de la radiación solar, superficies vidriadas, entre otros [19]. Gracias a estos parámetros de construcción se aprovecha la mayor parte de energía solar.

Según Long *et al.* [28] dicen que el sector de la construcción es responsable del 30 - 40% de uso de la energía en los países de gran desarrollo con lo que se convierte en la mayor fuente de emisión de CO₂ hacia el planeta por lo que causa preocupación ya que incrementa el calentamiento global.

La energía solar pasiva o bioclimática se caracteriza por el no uso de elementos mecánicos para la producción de energía, sino busca aprovechar al máximo la luz y el calor de manera natural mediante un buen diseño, materiales que se usan construir, y en el aprovechamiento de los recursos como la energía solar [19]. Es decir, sin transformar la energía del sol [29].



Figura 5. Tipos de energía solar [29]

1.4.2 La energía solar activa

La energía solar activa tiene una clasificación de tecnologías que se relacionan con el aprovechamiento de la energía solar, utilizando sistemas mecánicos o eléctricos para procesar dicha energía y convertirla en energía eléctrica [30].

Los equipamientos que se benefician de la energía solar activa, en gran mayoría bombas de agua, bombas de calor y demás [30]. Que en conjunto con los diferentes tipos de captadores solares transforman el calor y la radiación en energía útil, como la fotovoltaica o solar térmica [29].

1.4.2.1 Energía solar fotovoltaica

La tecnología fotovoltaica tiene su fundamento en la conversión en forma directa la radiación del sol en electricidad. Mediante un efecto que se denomina fotoeléctrico, se emplea dispositivos que se denomina como celdas fotovoltaicas, estas se convierten en semiconductores sensibles a la luz del sol, de manera que dichas celdas al momento de ser expuestas a la radiación del sol producen una circulación de corriente eléctrica entre sus dos caras [31].

En la figura continua se muestra un esquema de un sistema que mediante paneles fotovoltaicos genera energía eléctrica.

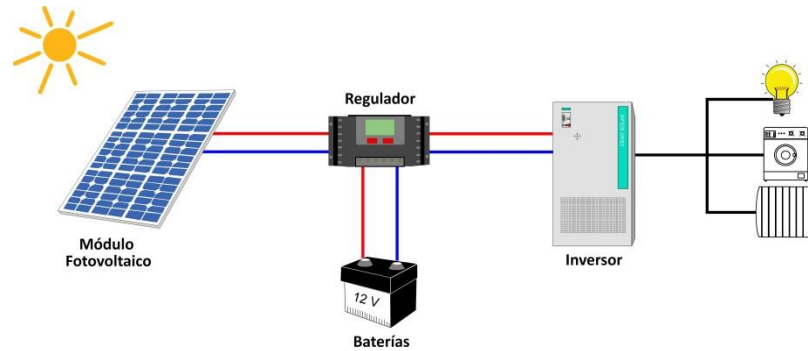


Figura 6. Energía solar fotovoltaica [32]

Los principales componentes de un sistema conformado por celdas fotovoltaicas tienen una dependencia con el tipo de aplicación a considerar que se conecta o no a una red y de las características de la instalación. La instalación de un sistema fotovoltaico con aislamiento está formada por los equipos destinados a producir, regular, acumular y transformar la energía eléctrica [31].

1.4.2.2 Energía solar térmica

La tecnología solar térmica se considera como la energía solar transformada en calor, con uso de colectores o paneles solares térmicos, que consta como principal elemento el captador solar por donde circula el fluido observador de la energía del sol [33].

De acuerdo con la temperatura que se pueda obtener, se puede clasificar el aprovechamiento en de máximo, media y mínima, siendo sus límites [31]:

- ✓ Hasta cien grados Celsius de mínima temperatura
- ✓ Desde cien hasta trescientos grados Celsius de media temperatura
- ✓ Mayores a trescientos grados Celsius de máxima temperatura.

Los sistemas térmicos de temperatura alta se localizan en grandes instalaciones, estos sistemas pueden alcanzar temperaturas superiores a los 400 °C, su principal elemento es una torre paraboloide o un campo de helióstatos que captan la radiación del sol en una torre principal, otro de sus elementos significativos es la caldera central la cual proporciona vapor a una temperatura alta para producción de electricidad o usos térmicos [31].

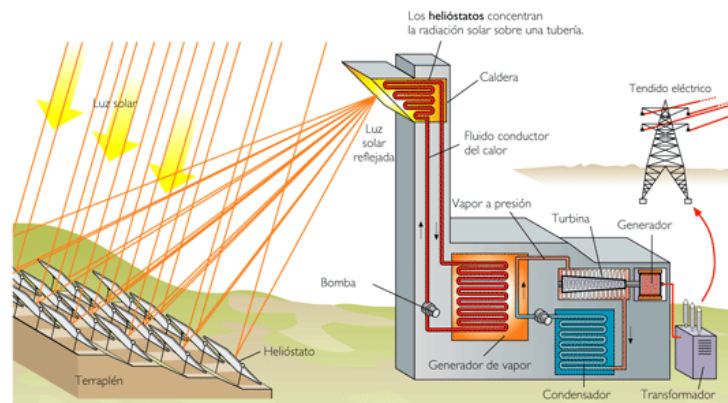


Figura 7. Captador solar de alta temperatura [31].

Los sistemas de temperaturas medias alcanzan un máximo de 300 °C, usan colectores parabólicos, que concentran la radiación emitida por el sol en un tubo colector que recibe y transmite el calor [31].

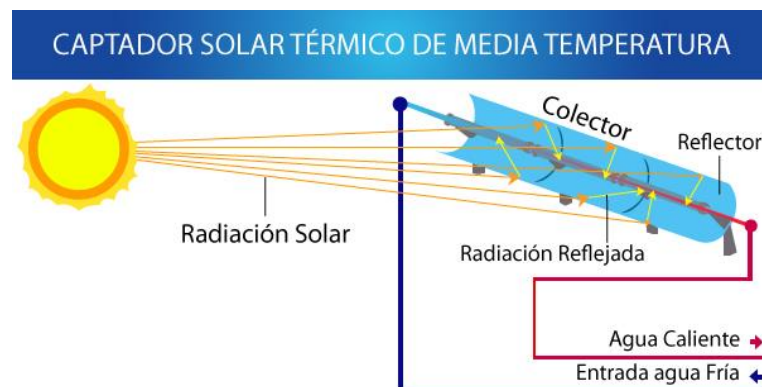


Figura 8. Captador solar de temperatura media [34]

Los sistemas de baja temperatura están en el rango de uso doméstico y 80 °C como temperatura máxima, con lo cual existe la certeza de que no se alcanzara el punto de ebullición del agua [35].

Mediante el sistema térmico se puede alcanzar temperaturas de confort para el calentamiento de ACS de uso doméstico.

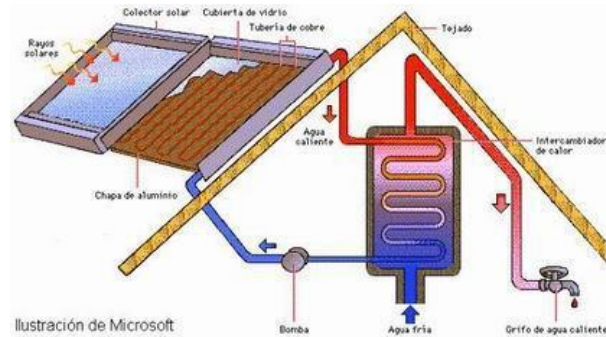


Figura 9. Captador solar de baja temperatura [35].

Las tecnologías solares activas se han convertido recientemente en el énfasis de la investigación en el campo de la construcción [36]. Por lo cual se han evaluado la producción de electricidad según la inclinación y dirección de las instalaciones fotovoltaicas y los efectos de la distancia de instalación con relación a la longitud del módulo. Como resultado se ha obtenido la optimización de la utilización y la eficiencia económica de los recursos de energía solar [28].

1.5 CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA

En la presente época el ACS se ha convertido en algo indispensable en la sociedad debido a que el calentar agua hasta una temperatura de confort mejora la calidad de vida, el ACS se considera como un confort perjudicial puesto que para llegar a este fin se usan recursos importantes como agua y energía [37].

1.5.1 Calentadores de agua a gas

El sistema de calentamiento con gas, se equipan con quemadores cuya capacidad para calentar agua es en un pequeño lapso de tiempo con lo cual se considera casi instantáneo a medida que fluye a través del sistema. Estos sistemas se pueden utilizar con gas propano, natural o electricidad [37].

Los primeros métodos a base de gas para el calentamiento de agua sanitaria sin tanque tenían dos posiciones encendido o apagado, debido a que poseían tan solo dos posiciones la temperatura estaba estrechamente relacionada con el flujo [37]. El agua caliente sanitaria a base de gas se debe realizar de forma correcta cumpliendo con las normativas, se selecciona los mejores materiales, válvulas y algo muy importante es el desfogue del gas debido a que si las personas inhalan gas en exceso es perjudicial para la salud [38].

Tipos de calentadores a gas:

1.5.1.1 Calentadores instantáneos o de paso (Calefones)

De los métodos más usados este calentador posee la característica de producir agua a medida que esta es consumida [38]. Su funcionamiento se reduce a la circulación de agua, es decir, cuando existe flujo de líquido por el serpentín se enciende el quemador principal calentando el flujo de agua este sistema alcanza temperaturas de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, las unidades que se utilizan en este tipo de sistemas son $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ [38].

Se muestra en la figura un esquema de funcionamiento de un calefón.

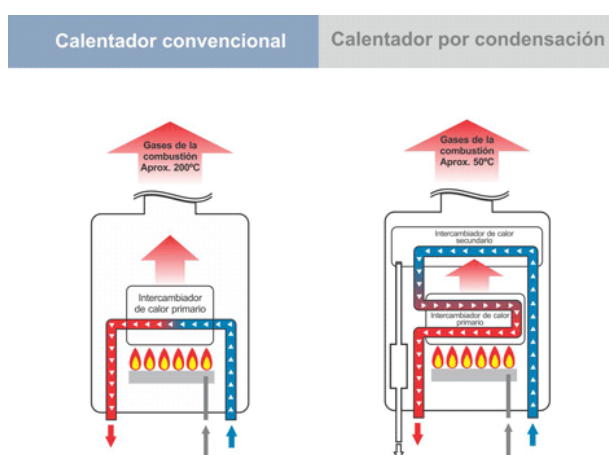


Figura 10. Calentador instantáneo o de paso [38].

Alcanzar altos rangos de eficiencia es una característica de los calentadores a base de gas. La energía no utilizada en el ACS es expulsada en forma de CO_2 , o aire caliente [38].

1.5.1.2 Calentadores acumuladores (calderas y termo-tanques)

La caldera es un componente que tienen como función calentar el agua que circula por un sistema cerrado. La energía calorífica proviene de la combustión que es generada por un combustible gaseoso que puede ser gas natural, butano o combustible similares [39].

Una bomba de circulación en la caldera es fundamental debido a que esta recibe caudal que se calienta en la combustión y es expulsado hacia los radiadores de calefacción hasta que se alcanza la temperatura deseada [39].

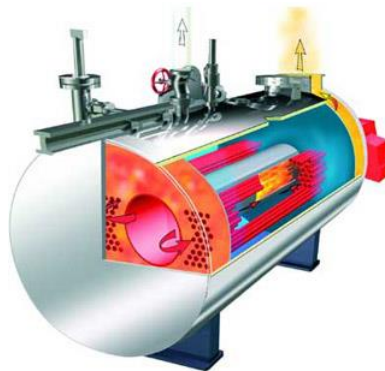


Figura 11. Calentadores acumuladores [39].

Cada caldera de agua caliente debe estar conectada a una caldera de presión o de altitud con su conexión de flujo, de tal manera que no pueda ser desconectada de la caldera excepto por un grifo con mango o palanca colocando tubería cerca del medidor. El mango del grifo debe ser paralelo al tubo en el que se encuentra cuando el grifo está abierto [40].

1.5.2 Calentamiento de aguas eléctricas

Los métodos de producción del agua caliente sanitaria varían considerablemente, en función de la fuente calorífica y del sistema que se utilice, pudiendo ser, centralizado o individual para cada hogar [41].

1.5.2.1 Calentador eléctrico de punto

Estos calentadores son unidades muy pequeñas instaladas a poca distancia del lugar donde se requiere el agua caliente. Son alimentados con electricidad y se activan automáticamente por flujo o manualmente con un interruptor. Su uso se reduce a unas pocas aplicaciones comerciales o domésticas. Además, poseen un reducido consumo eléctrico que van desde 1500 a 5000 W, la temperatura del agua después de pasar por el calentador eléctrico de punto debe estar entre los 35 y 45 °C [41].

El calentamiento de ACS mediante calentador eléctrico de punto es de gran uso en el Ecuador debido a que es fácil de obtener.

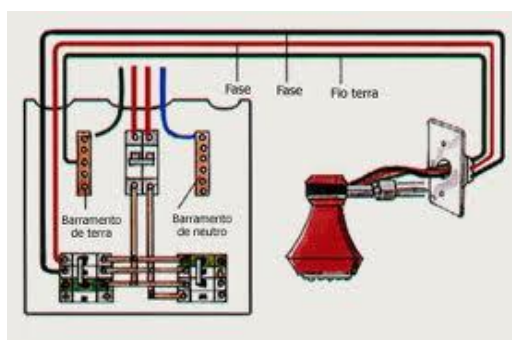


Figura 12. Calentador eléctrico de punto.

1.5.2.2 Calentador eléctrico de paso

El calentador de paso obtiene agua potable caliente con ayuda de una resistencia eléctrica que se encuentra ubicada en el interior. Cuando el agua llega a las temperaturas que oscila entre sesenta y setenta y cinco grados celsius se apaga [42].

El calentador de agua de paso consta de un serpentín en el centro que calienta el agua como se muestra en la figura.



Figura 13 Calentador eléctrico de paso [43].

El sistema de cogeneración que consta de un micro gas [44]. Es un calentador de agua de resistencia eléctrica con un gas auxiliar para calentar agua y un tanque de almacenamiento de agua caliente. La potencia nominal supone que la eficiencia de generación es del 18.1% y el calor residual es del 56.8%. Cuando la energía generada por el sistema es mayor que la energía que demanda la casa para el calentamiento de ACS dicha energía se almacena en una instalación auxiliar para compensar cuando exista escasez.

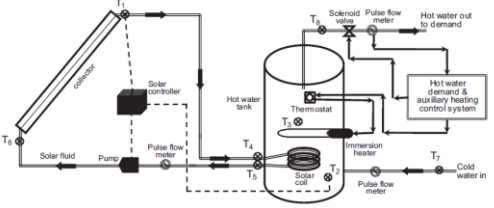

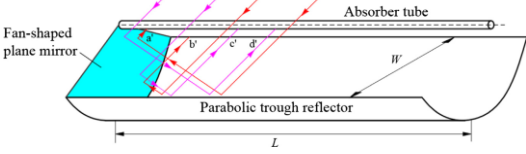
1.5.3 Calentamiento de agua con energía solar

1.5.3.1 Colectores solares

La energía solar es una fuente de energía prometedora para cubrir una gran variedad de aplicaciones desde niveles bajos hasta altos niveles de temperatura [45]. Una apropiada selección del tipo de colector solar en gran medida se basa en la temperatura que se desea alcanzar, otro factor importante para la selección del colector es los factores climáticos [46].

Los captadores que tienen como objetivo una temperatura inferior a los cien grados centígrados comúnmente son construidos con cubierta de vidrio [47]. Por lo general este tipo de sistemas son para uso doméstico y se clasifican en:

- ***Planos:*** Es el tipo de colector más sencillo que se utiliza para transformar la energía solar en calor. El fluido que circula por el interior del absolvedor es generalmente agua, aunque es posible utilizar otros fluidos e incluso vapor, dependiendo de la aplicación y la temperatura de operación necesaria [48].
- ***De vacío:*** Los colectores de tubo de vacío se conforman por tubos generalmente de cristal uno a continuación del otro y en su cabecera una tubería que conecta a los demás [48]. El colector solar de tubo de vacío son relativamente insensible a la dirección de la luz solar debido a que contienen excelente aislamiento térmico [49]. La geometría tubular ayuda a soportar el diferencial de presión entre la atmósfera y el vacío interior, una particularidad de este sistema es que se pueden alcanzar temperaturas entre 100 °C y 400 °C que son considerados de alta temperatura [48].
- ***Captador parabólico compuesto:*** Para alcanzar temperaturas altas la única solución posible es la concentración de colectores, los colectores cilindro parabólicos son la tecnología más madura para mejorar el rendimiento [45]. Estos sistemas intentan minimizar las pérdidas disminuyendo el área del absolvedor con respecto del área de captación [46]. La mayor concentración de radiación se obtiene mediante el uso de reflectores que, después de una o más reflexiones, fuerzan la radiación incidente dentro de un cierto ángulo (llamado ángulo de aceptación) en la dirección del absolvedor. [48].

Autor	Figura	Modificación	Producción Diaria	Conclusión
<p>Según Ayompe <i>et al.</i> [50].</p> <p>Estudio comparativo del rendimiento de campo de los colectores de tubo de vacío de placa plana y tubo de calor (ETC) para sistemas de calefacción de agua doméstica en un clima templado.</p>		<p>Se presentan los resultados de la monitorización del rendimiento energético durante todo el año de dos calentadores de agua solares con placas planas.</p>	<p>300 [l]</p>	<p>Los resultados obtenidos muestran que para una insolación solar 1087 $kWh \cdot m^{-2}$, por lo cual en un tanque de 300 l se ahorra aproximadamente un ahorro de 4254 euros.</p>
<p>Según Juanicó <i>et al.</i> [14].</p> <p>Completo modelado térmico-hidráulico y solar para estudiar colectores solares de bajo coste basados en una sola manguera larga de LDPE</p>		<p>Un análisis exhaustivo de los colectores solares de bajo coste basados en una sola manguera de LDPE de plástico largo que descansa sobre un techo</p>	<p>150 [l]</p>	<p>El sistema está destinado a proveer agua caliente para demandas sanitarias (hasta 45° C) a lo largo de todo el año montado sobre techos comunes o paredes verticales.</p>
<p>Según Zou <i>et al.</i> [51].</p> <p>Investigación experimental sobre un colector solar de pequeño tamaño parabólico para calefacción de agua en zonas frías.</p>		<p>Consistió en una lámina de espejo reflexivo con forma parabólica y un receptor situado en la línea focal del concentrador. La reflectancia podría ser de 0.93.</p>	<p>Caudales: $0.13 [m^3 \cdot h^{-1}]$ $0.36 [m^3 \cdot h^{-1}]$ $0.55 [m^3 \cdot h^{-1}]$</p>	<p>Se determinó que la eficiencia térmica de la PTC alcanzó un 67% incluso bajo condiciones de radiación solar de menos de 310 $W \cdot m^{-2}$.</p>

1.5.3.2 Colector solar termosifón

El colector solar termosifón se está convirtiendo en un dispositivo ampliamente aceptado para la recolección de energía solar para usos domésticos [52]. Que calienta el agua potable o fluido de transferencia y usan convección natural para transportarla desde el colector hasta el tanque de almacenamiento [53].

El efecto de termosifonación se produce porque la densidad del agua cae con el aumento de la temperatura. Por lo tanto, por la acción de la radiación solar absorbida, el agua en el colector se calienta y por lo tanto se expande, haciéndose menos densa, y se eleva a través del colector en la parte superior del tanque de almacenamiento. Allí es reemplazado por el agua más fría que ha hundido al fondo del tanque, del cual fluye abajo el colector debido a su bajo costo de instalación y operación, su falta de necesidad de un sistema de circulación forzada y control, mantenimiento requerido y simplicidad en estructura [52, 54].

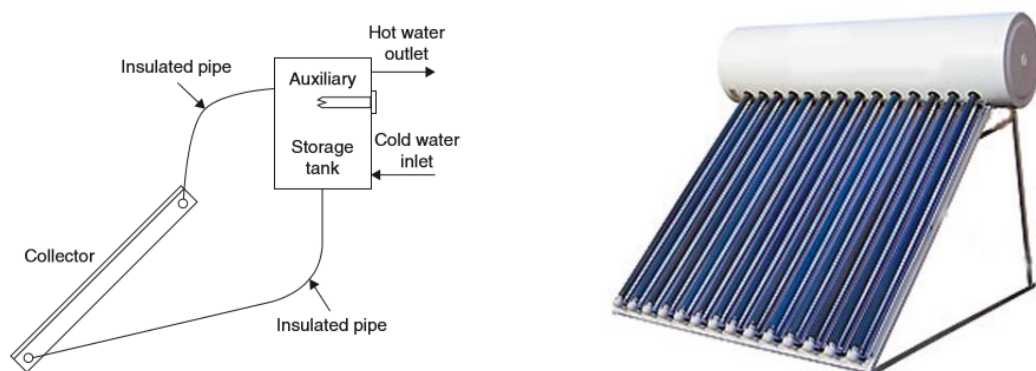


Figura 14. Sistema termosifón [54].

1.6 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

A continuación, se realizará el estudio de diversas alternativas para el ACS, se podrá identificar las necesidades a satisfacer con las cuales se obtendrá la mejor alternativa, se debe tomar en cuenta aspectos fundamentales como son: valor económico, tecnologías aplicadas, mantenimiento, entre otros.

1.6.1 Identificación de necesidades

Las principales necesidades que se han podido observar y son fundamentales a tomar en cuenta para el diseño de un sistema para el ACS son:

- **Económico:** El aspecto económico va relacionado con la inversión inicial para la implementación de un sistema de para calentar agua potable y ser usada por el ser humano, en el país la mayoría de la población utiliza GLP y electricidad para el ACS, en el primer caso el costo no es demasiado elevado, pero causa daños al medio ambiente y en el segundo caso el costo que representa el calentar agua mediante electricidad es alto.

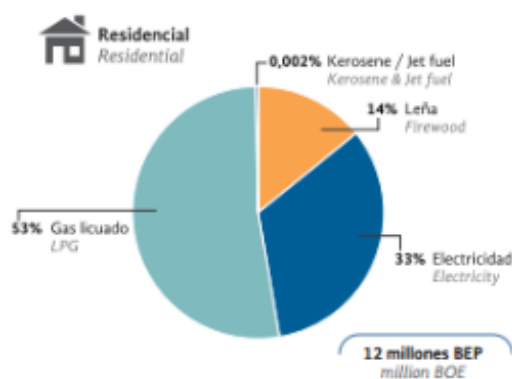


Figura 15 Energía usada en el sector residencial [27]

- **Rendimiento:** La implementación de un sistema para calentamiento de agua sanitaria, va relacionado con el tiempo de recuperación de agua caliente en el depósito, para alcanzar la temperatura de confort de 45 °C.
- **Mantenimiento:** El mantenimiento se relación, con el gasto que se debe realizar para conservar cualquier sistema de calentamiento de agua óptimo y funcionando.
- **Impacto Ambiental:** Para el análisis cuantitativo el impacto ambiental es el más importante debido a que se busca la mejor alternativa para eliminar la emisión de dióxido de carbono hacia la atmosfera, el utilizar recursos

naturales sin causar daños al medio ambiente, es otro aspecto a tomar en cuenta.

Tabla 3 Impacto ambiental de las diferentes energías [55].

Impacto Ambiental del sistema de termosifón y energías convencionales				
Emisiones	Unidades	Electricidad	Diesel	Sistema solar
Dióxido de carbono (CO_2)	$\left(\frac{Tn}{año}\right)$	1.546	0.889	0.449
Monóxido Carbono (CO)	$\left(\frac{g}{año}\right)$	374.6	1688	109.7
Oxido nitrógeno (NO_2)	$\left(\frac{g}{año}\right)$	56.3	1636	16.3
Óxido nitroso (N_2O)	$\left(\frac{g}{año}\right)$	6.3	6.1	2.1
Metano (CH_4)	$\left(\frac{g}{año}\right)$	9.3	13.6	2.7
Hidrocarburos	$\left(\frac{g}{año}\right)$	37.7	52.7	11.0
Dióxido azufre (SO_2)	$\left(\frac{g}{año}\right)$	562.7	651.4	164.5

La reducción de las diferentes emisiones que provoca las energías no renovables, es muy significativa respecto a las energías renovables como en este caso la energía solar, mediante la cual se puede obtener un ahorro importante de emisiones tóxicas, que son perjudiciales para el medio ambiente y para los seres vivos [55].

1.6.2 Elección de la mejor alternativa para el diseño del sistema de calentamiento de agua sanitaria

Para la elección de la mejor alternativa para el ACS se realizará un análisis de cada uno de los aspectos antes expuestos de tal forma que se realice imparcialmente para cubrir con las necesidades. Es necesario realizar un análisis cuantitativo para llegar a un juicio comparativo de las alternativas.

El método cuantitativo que se empleó se encuentra en base de una escala numérica para valorar las alternativas establecidas. La ventaja del método utilizado es firme y permite analizar los múltiples criterios. Las escalas se definen desde el número 1 siendo la calificación más baja y 4 para la calificación más alta con esta escala se puntuará los criterios. Para logra la mejor elección de diseño para el sistema se usa el método de matriz de alternativas.

- 4 = Excelente
- 3 = Muy Buena
- 2 = Buena
- 1 = Mala

Tabla 4 Análisis cuantitativo de alternativas.

Alternativas	Necesidades					Valoración porcentual
	Económico	Rendimiento	Mantenimiento	Impacto ambiental	Valoración global	
GLP	2	3	3	1	9 / 16	56%
Electricidad	3	2	3	1	9 / 16	56%
Energía solar	1	4	3	4	12 / 16	75%

Después de haber realizado el análisis cuantitativo se establece que la mejor alternativa para el diseño y construcción para el ACS es “ENERGÍA SOLAR” mediante colectores solares.

Una vez seleccionado el sistema adecuado para el ACS se procederá a la investigación de las herramientas para el cálculo como son fórmulas, tablas, entre otros. Después de la investigación se procederá a la construcción del sistema.

1.7 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

- El análisis de los diversos sistemas que se utilizan para el calentamiento de ACS demuestra que el sistema que utiliza ENERGÍA SOLAR es más fácil de usar, en el tiempo resulta económico y la más importante ayuda al medio ambiente.
- La alternativa investigada permite obtener un mejor conocimiento acerca del ACS y la mejor alternativa para no afectar al medio ambiente ya que este es un tema de suma importancia en la actualidad.
- La ENERGÍA SOLAR permite optimizar al máximo los recursos naturales y ayuda a la conservación del planeta, de tal forma que no se utilicen recursos que ya están explotados y en poco tiempo puedan escasear.

CAPÍTULO II

Para el inicio del capítulo se debe considerar la importancia de prevenir la legionelosis en la producción de ACS.

Las instalaciones de ACS con acumulación deben cumplir ciertas prescripciones reglamentarias como son:

- El agua se debe acumular a una temperatura de al menos de 60 °C.
- Se debe obtener una temperatura de al menos 50 °C en el punto más desfavorable de la instalación.
- La instalación debe permitir que el agua llegue a una temperatura de 70 °C.
- Tener una fácil accesibilidad para mantenimiento de la instalación [56].

Para el dimensionamiento de un Sistema Solar Térmico (SST) existen parámetros esenciales:

Tabla 5 Parámetros del SST [54].

Grupo de parámetros	Parámetros fundamentales
Parámetros de uso	Volumen de consumo
	Temperatura de consumo
	Temperatura de agua fría
Parámetros climáticos	Radiación global diaria
	Temperatura media diaria
Parámetros funcionales	Superficie total de captación
	Factores de ganancia y pérdida del colector
	Volumen de acumulación solar
	Eficiencia del sistema de intercambio
	Pérdidas térmicas

2.1 DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMA SOLAR TÉRMICO (SST)

Las instalaciones solares que producen ACS se han transformado en la aplicación más rentable en la actualidad [54]. El ACS constituye un consumo energético importante en un domicilio con diversos usos como limpieza personal y de casa. En países en vías de desarrollo el consumo energético constituye entre el treinta y cuarenta por ciento del total de energía en un hogar [56].

2.1.1 Radiación solar

Se define como energía que incide por unidad de tiempo y área, en una superficie instalada fuera de la atmósfera, que recibe los rayos emitidos por el sol con incidencia normal [58]. La radiación solar total sobre una superficie (G) es la combinación de la radiación directa (G_{dir}), radiación difusa (G_{dif}) y radiación reflejada (G_{ref}) [59].

$$G = G_{dir} + G_{dif} + G_{ref} \quad (1)$$

Según Guevara Vásquez [59], la radiación solar entre el exterior de la atmósfera tomando en cuenta la distancia entre el sol y la tierra, se considera como valor promedio $1353(W \cdot m^{-2})$ que se denomina constante solar.

Según Guevara Vásquez [59], en el caso de colectores solares se dice que no existe radiación reflejada por lo que la radiación global es la suma de radiación directa y difusa.

La radiación sola depende de ciertos parámetros los cuales son detallados a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 6 Parámetros de la radiación solar [59, 61].

<i>Parámetros</i>	<i>Definición</i>	<i>Método de calculo</i>	<i>Unidad</i>
		Para una superficie plana (es decir, horizontal):	Grados Celsius
		$\cos \theta_z = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega$	Grados Celsius
Ángulo de Incidencia Solar (θ_z)	El ángulo entre el cenit y el centro del disco del sol	Para la superficie inclinada (es decir, orientado hacia el sur): $\cos \theta_z = \sin \omega \cdot \sin(\varphi - \beta) + \cos \delta \cdot \cos(\varphi - \beta) \cdot \cos \omega$	Grados Celsius
Ángulo altitud Solar (β)	El ángulo entre el horizonte y el centro del disco solar	$\sin \beta = \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \varphi \cdot \sin \delta$	Grados Celsius
Ángulo latitud (φ)	La posición angular al norte o al sur del ecuador	$-90^\circ < \varphi < 90^\circ$	Grados Celsius
Ángulo hora solar (ω)	El desplazamiento angular del sol al este o al oeste del meridiano local	(Hora local estándar -12) 15	Grados Celsius

Ángulo declinación solar (δ)	El ángulo entre el plano ecuatorial y una línea que une los centros del Sol y la Tierra	$23.45 \cdot \sin \left[360 \cdot \left(\frac{284 + n}{365} \right) \right]$	Grados Celsius
Número del día (n)	El número de día del año a partir del primero de enero		
Ángulo azimut solar	El ángulo entre una línea hacia el sur y la sombra emitida por una varilla vertical en la Tierra	$\sin \theta_a = \frac{\sin \omega \cdot \cos \delta}{\sin \theta_z}$	Grados Celsius
Ángulo azimut de cara (γ)	El ángulo azimutal de una superficie respecto al norte verdadero	$-90^\circ < \varphi < 90^\circ$	Grados Celsius
Ángulo Inclinação superficie (α)	El ángulo entre la superficie y la horizontal	$-90^\circ < \varphi < 90^\circ$	Grados Celsius

Radiación Directa. Es la radiación solar recibida sin haber sido dispersada por la atmósfera [61]. Se calcula mediante el ángulo de incidencia solar utilizando el modelo de Hottel. [59].

$$G_{dir} = \eta \cdot I_e \cdot \cos\theta_z \quad (2)$$

Donde:

η : Coeficiente de sombreado de la fachada, que es igual a 1 cuando no hay sombra.

I_e : Radiación extraterrestre.

La intensidad de radiación extraterrestre esta evaluada con el número de días y mediante la siguiente ecuación [59].

$$I_e = G_{sc} \left[1 + 0.034 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \quad (3)$$

Donde:

G_{sc} : Es la constante solar equivalente a $1367 \left[\frac{W}{m^2} \right]$

τ_t : Transmitancia atmosférica para la radiación del haz.

$$\tau_t = a_0 + a_1 \exp\left(-\frac{k}{\cos\theta_z}\right) \quad (4)$$

Donde:

a_0, a_1, k : Son parámetros relativos a la altitud del suelo.

Estos parámetros son iguales a r_0, r_1, r_k respectivamente y se encuentran determinados para diferentes climas en la siguiente tabla.

Tabla 7 Parámetros relativos a la altitud del piso [61].

Tipos de Climas	r_0	r_1	r_k
Tropical	0.95	0.98	1.02
Verano de latitudes medias	0.97	0.99	1.02
Invierno de latitudes medias	1.03	1.01	1.00
Verano sub-ártico	0.99	0.99	1.01

Radiación difusa: La radiación solar recibida del sol después que su dirección ha sido cambiada por la dispersión de la atmosfera. En algunas publicaciones meteorológicas se le conoce como la radiación solar del cielo [61].

Para superficies verticales se determina a partir de la siguiente ecuación [59].

$$G_{dif} = F_{dif} \cdot R_{dif} \cdot I_e \cdot \tau_t \quad (5)$$

En superficies inclinadas la radiación solar este dado por:

$$G_{dif} = F_{dif} \cdot R_{dif} \cdot I_e \cdot \tau_t \cdot \frac{1 + \cos \varphi}{2} \quad (6)$$

Donde:

F_{dif} : Factor difuso de cielo y se calcula mediante:

$$F_{dif} = 0.1207 + 0.0179 \sin(0.0203 n + 3.9798) \quad (7)$$

R_{dif} : Relación entre la radiación difusa del cielo sobre una superficie vertical y la superficie horizontal, se calcula por:

$$R_{dif} = 0.55 + 0.437 \cos \theta + \cos^2 \theta \quad (8)$$

La irradiación total (IT) sobre una superficie inclinada bajo condiciones de cielo despejado se calcula mediante las ecuaciones que dependen de R_b , que es la relación de la radiación solar directa instantánea sobre una superficie inclinada a la radiación solar directa instantánea sobre una superficie horizontal [62].

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta} \quad (9)$$

Entonces por medio de esta ecuación se obtiene para la irradiación total [62].

$$I_T = I_b \cdot R_b + I_d \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} + (I_b + I_d) \cdot \rho \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (10)$$

Radiación solar global

El promedio de radiación solar global que recibe en Ecuador en los distintos meses del año se encuentra detallada a continuación en la siguiente tabla.

Como se indica anteriormente se muestra la radiación promedio.

Tabla 8 Promedio radiación global en Ecuador [63].

Mes	Radiación Global
	$\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}$
Enero	3689
Febrero	3315
Marzo	3572
Abril	3188
Mayo	3288
Junio	3107
Julio	3216
Agosto	3117
Septiembre	3450
Octubre	3520
Noviembre	4059
Diciembre	3527
Promedio Anual	3420

2.1.2 Número de horas mensuales de sol

El número de horas de sol que se aprovecha en el día se determina mediante la diferencia de horas, entre la hora de salida del sol por la mañana y la hora de ocultación de sol por la tarde [64].

A continuación, se muestra una tabla emitida por la Gestión Meteorológica Aeronáutica en la cual se encuentra detallada la salida del sol y la puesta del sol para el periodo comprendido entre el 01 de enero de 2016 y el 31 de diciembre de 2019 [65].

Los datos que se muestra en la figura son proporcionados por la aviación civil del Ecuador.

QUITO / Mariscal Sucre Intl. SEQM 00 07 27S 078 21 16W											
MONTH/ DAY		TWL FROM	SR	SS	TWL TO	MONTH/ DAY		TWL FROM	SR	SS	TWL TO
JAN	1	5:50	6:13	18:21	18:43	JUL	3	5:51	6:14	18:21	18:43
--	5	5:52	6:15	18:22	18:45	---	7	5:52	6:14	18:21	18:44
--	9	5:54	6:16	18:24	18:46	---	11	5:53	6:15	18:22	18:44
--	13	5:56	6:18	18:26	18:48	---	15	5:53	6:16	18:22	18:45
--	17	5:57	6:19	18:27	18:49	---	19	5:54	6:16	18:23	18:45
--	21	5:59	6:21	18:28	18:50	---	23	5:54	6:16	18:23	18:45
--	25	6:00	6:22	18:29	18:51	---	27	5:54	6:16	18:23	18:45
--	29	6:01	6:22	18:30	18:52	---	31	5:54	6:16	18:22	18:44
FEB	2	6:01	6:23	18:30	18:52	AUG	4	5:54	6:16	18:22	18:44
--	6	6:02	6:23	18:31	18:52	---	8	5:54	6:15	18:22	18:43
--	10	6:02	6:24	18:31	18:52	---	12	5:53	6:14	18:21	18:42
--	14	6:02	6:24	18:31	18:52	---	16	5:52	6:14	18:20	18:41
--	18	6:02	6:23	18:30	18:51	---	20	5:52	6:13	18:19	18:40
--	22	6:02	6:23	18:30	18:51	---	24	5:51	6:12	18:18	18:39
--	26	6:02	6:22	18:29	18:50	---	28	5:50	6:11	18:17	18:38
MAR	1	6:01	6:22	18:28	18:49	SEP	1	5:48	6:09	18:16	18:37
--	5	6:00	6:21	18:28	18:48	---	5	5:47	6:08	18:14	18:35
--	9	5:59	6:20	18:27	18:47	---	9	5:46	6:07	18:13	18:34
--	13	5:58	6:19	18:25	18:46	---	13	5:45	6:05	18:12	18:32
--	17	5:57	6:18	18:24	18:45	---	17	5:43	6:04	18:10	18:31
--	21	5:56	6:17	18:23	18:44	---	21	5:42	6:02	18:09	18:30
--	25	5:55	6:15	18:22	18:43	---	25	5:40	6:01	18:07	18:28
--	29	5:54	6:14	18:21	18:41	---	29	5:39	6:00	18:06	18:27
APR	2	5:52	6:13	18:19	18:40	OCT	3	5:38	5:58	18:05	18:26
--	6	5:51	6:12	18:18	18:39	---	7	5:36	5:57	18:04	18:25
--	10	5:50	6:11	18:17	18:38	---	11	5:35	5:56	18:03	18:24
--	14	5:49	6:10	18:16	18:37	---	15	5:34	5:55	18:02	18:23
--	18	5:48	6:09	18:15	18:36	---	19	5:33	5:54	18:01	18:22
--	22	5:47	6:08	18:15	18:36	---	23	5:33	5:54	18:01	18:22
--	26	5:46	6:07	18:14	18:35	---	27	5:32	5:53	18:00	18:21
--	30	5:45	6:07	18:13	18:35	---	31	5:32	5:53	18:00	18:21
MAY	4	5:45	6:06	18:13	18:34	NOV	4	5:31	5:53	18:00	18:22
--	8	5:44	6:06	18:13	18:34	---	8	5:32	5:53	18:00	18:22
--	12	5:44	6:06	18:13	18:34	---	12	5:32	5:54	18:01	18:23
--	16	5:44	6:06	18:13	18:35	---	16	5:32	5:54	18:02	18:24
--	20	5:44	6:06	18:13	18:35	---	20	5:33	5:55	18:03	18:25
--	24	5:44	6:06	18:13	18:35	---	24	5:34	5:56	18:04	18:26
--	28	5:45	6:07	18:14	18:36	---	28	5:35	5:57	18:05	18:27
JUN	1	5:45	6:07	18:14	18:37	DEC	2	5:37	5:59	18:07	18:29
--	5	5:46	6:08	18:15	18:37	---	6	5:38	6:00	18:08	18:31
--	9	5:46	6:09	18:16	18:38	---	10	5:40	6:02	18:10	18:33
--	13	5:47	6:10	18:17	18:39	---	14	5:42	6:04	18:12	18:35
--	17	5:48	6:11	18:17	18:40	---	18	5:44	6:06	18:14	18:37
--	21	5:49	6:11	18:18	18:41	---	22	5:45	6:08	18:16	18:38
--	25	5:50	6:12	18:19	18:42	---	26	5:47	6:10	18:18	18:40
--	29	5:51	6:13	18:20	18:42	---	30	5:49	6:12	18:20	18:42

Figura 16. Promedio de horas mensuales de sol [65].

Según el gráfico mostrado a continuación las horas útiles promedio de sol en Ecuador son 12 horas, las cuales podrían ser aprovechadas para el dimensionamiento del colector solar.

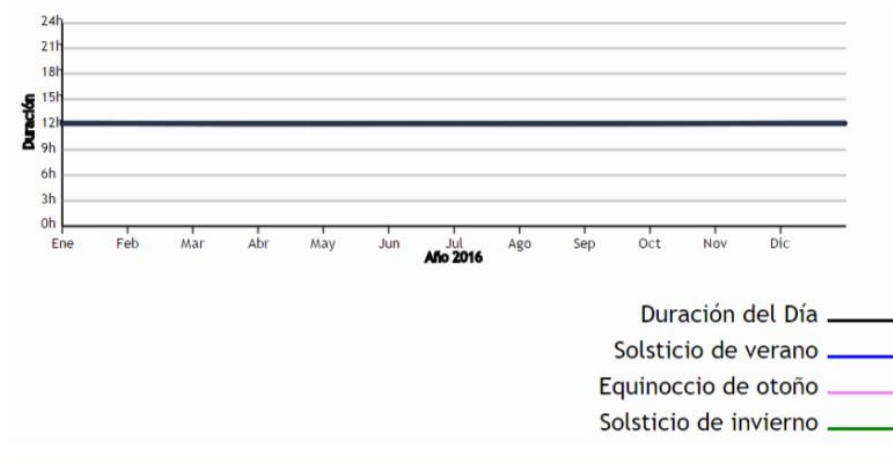


Figura 17. Duración de horas del sol.

2.2 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE RESERVA DE AGUA CALIENTE SANITARIA

2.2.1 Condiciones mínimas de suministro

Las instalaciones deben tener un suministro mínimo de caudales hacia los aparatos sanitarios [66].

2.2.2 Caudal instantáneo

El caudal instantáneo es el resultado de la suma de los caudales mínimos de todos los aparatos que se encuentran en la edificación, aplicando un coeficiente de simultaneidad [56]. El coeficiente de simultaneidad es relacionado con el uso al mismo tiempo de todos los aparatos sanitarios instalados en la edificación [67].

Para el inicio del cálculo de la demanda de ACS se debe determinar el caudal simultaneo para esto se usan los datos de la siguiente tabla.

Tabla 9 Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato [56].

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo $\left(\frac{l}{s}\right)$	
	Agua Fría	ACS
Lavamanos	0.05	0.03
Inodoro con tanque	0.10	-
Fregadero doméstico	0.20	0.10
Ducha	0.20	0.10
Lavadora doméstica	0.20	0.15
Grifo garaje	0.20	-
Lavavajilla doméstico	0.15	0.1

- Los caudales instantáneos se obtienen mediante la siguiente expresión [56].

$$Q_c = A \cdot (Q)^B + C \quad (11)$$

Donde:

Q_c : Caudal simultáneo de cálculo, $\left[\frac{l}{s}\right]$

Q_t : Caudal total, suma de todos los aparatos de la edificación, $\left[\frac{l}{s}\right]$

A, B y C : Coeficientes dependientes del tipo de edificación de caudales totales de edificación y caudales máximos por aparatos.

- En la siguiente tabla se observa los coeficientes A, B y C para cada tipo de edificación.

Tabla 10 Caudales instantáneos en aparatos y secciones mínimas de tuberías para la conexión de los mismos [66].

Tipo de Edificio	Caudales $\left(\frac{l}{s}\right)$		Coeficientes		
	Q_u	Q_t	A	B	C
VIVIENDA	< 0.5	≤ 20	0.682	0.450	-0.140
	≥ 0.5	≤ 1	1.000	1.000	1.000
	≥ 0.5	≤ 20	1.700	0.210	-0.700
	Sin Limite	>20	1.700	0.210	-0.700

Donde:

Q_u : Caudal mayor con mayor consumo de los aparatos, $\left[\frac{l}{s}\right]$

Para el caso de una vivienda unipersonal se estima el número de accesorios a continuación para determinar el caudal que se necesita.

Tabla 11 Cálculo de caudales y aparatos sanitarios.

Tipo de aparato	No. de Aparatos Sanitarios	Caudal instantáneo mínimo $\left(\frac{l}{s}\right)$	
		Agua Fría	ACS
Lavamanos	1	0.05	0.03
Inodoro con tanque	1	0.10	-
Fregadero doméstico	1	0.20	0.10
Ducha	1	0.20	0.10
Lavadora doméstica	1	0.20	0.15
Grifo garaje	-	0.20	-
Lavavajilla doméstico	-	0.15	0.1
TOTAL	5	0.75	0.38

Dado que la suma de caudales de ACS es de $0.38 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$, el aparato con mayor consumo de caudal es la lavadora doméstica con $0.15 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ se obtienen los coeficientes de:

$$A = 0.682$$

$$B = 0.450$$

$$C = -0.140$$

2.2.3 Demanda de ACS

La demanda de ACS no necesariamente debe estar relacionada con el caudal instantáneo, debido a que el caudal instantáneo se dará por lapsos cortos de tiempo, es decir cuando la simultaneidad este en ejecución [56].

Para el cálculo de demanda de ACS se toman datos de referencia de: documento básico de ahorro de energía (HE_4), en donde se muestran consumos de ACS a una temperatura de 60°C [68].

En la tabla que se muestra a continuación se indica la capacidad de agua, que ocupa una persona en las diferentes viviendas y establecimientos.

Tabla 12 Demanda de referencia a 60 °C [67, 68, 69, 70].

Criterio de Demanda	$\left(\frac{l}{dia}\right)_{60\text{ }^{\circ}\text{C}}$	<i>Acs</i>
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

- Para determinar el volumen necesario de agua caliente sanitaria (ACS) demandado para el consumo en una vivienda unipersonal a 60 °C se utiliza la siguiente expresión:

$$V = \# \text{ personas} \cdot \text{Demanda a } 60^{\circ}\text{C} \quad (12)$$

- Para determinar la demanda energética correspondiente al calentamiento de agua sanitaria (ACS) se realiza con la siguiente ecuación [71].

$$D_{ACS} = V \cdot \rho_a \cdot c_p \cdot (T_s - T_{red}) \quad (13)$$

Donde:

V : Volumen de agua diario, $\left[\frac{l}{día} \right]$

ρ_a : Densidad del agua $1000 \frac{kg}{m^3}$

c_p : Calor específico del agua $4187 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$

T_s : Temperatura de consumo, $[^\circ C]$

T_{red} : Temperatura del agua de la red, $[^\circ C]$

La temperatura de la red de agua fría en la ciudad de Quito varía entre los 14 y $16^\circ C$, con mínimos absolutos de $2^\circ C$ y máximos de $30^\circ C$ [72].

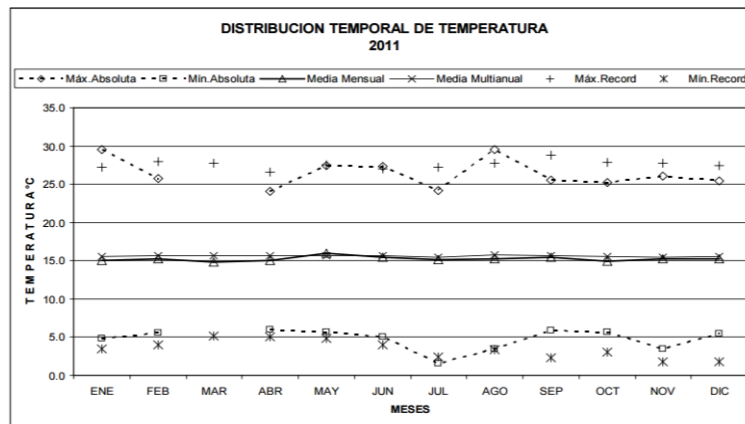


Figura 18. Distribución de temperatura por meses [72].

2.2.4 Energía demandada para ACS

La energía demandada para el calentamiento de agua sanitaria, es la energía que consume el calentador de agua para satisfacer la demanda de volumen necesaria para cubrir el consumo de ACS de las personas [55, 72].

$$E_r = V \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad (14)$$

Donde:

E_r : Energía útil requerida, $[Kcal]$

V : Volumen de agua acumulado, $\left[\frac{l}{día} \right]$

T_{in} : Temperatura del agua fría que ingresa al dispositivo de calentamiento, $[°C]$

T_{out} : Temperatura del agua a la salida del dispositivo de calentamiento, $[°C]$

2.3 DISEÑO DEL COLECTOR SOLAR TERMOSIFÓN

Para realizar el dimensionamiento y modelación de los colectores solares se utiliza la formulación que sugiere [62].

2.3.1 Ganancia de calor útil de un colector

La radiación global de calor que recibe el colector solar, se transforma en ganancia de calor útil del colector y se obtiene mediante la siguiente ecuación.

$$Q_{util} = A_c \cdot G_T \cdot \eta_c \quad (15)$$

Donde:

Q_{util} : Ganancia de calor útil del colector solar.

A_c : Área del colector solar.

G_T : Radiación Global.

η_c : Eficiencia del Colector

Pero una forma de estimar el caudal que se creará en un calentador de agua solar termosifón es asumir se encuentra en estado estacionario es decir que hay un aumento constante de temperatura del agua que fluye a través del colector. Por lo tanto, la tasa de calor o energía útil recogida por el colector se puede obtener de [74, 53]

$$Q_{util} = A_c \cdot [G_T \cdot (\tau\alpha) - U_L \cdot (T_p - T_a)] = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_0 - T_i) \quad (16)$$

Donde:

Q_{util} : Ganancia de calor útil del colector solar.

A_c : Área del colector solar.

$\tau\alpha$: Factor de diferencia entre la radiación solar absorbida por el colector por unidad de área y la pérdida total de calor de radiación de la superficie del colector.

U_L : Coeficiente global de pérdida de calor de la placa de colector.

T_a : Temperatura del aire ambiente.

T_p : Temperatura de la placa.

2.3.2 Área del colector

Según Salcedo Cobo [74], el área en colectores solares se refiere a la captación de energía necesaria para la transferencia de calor. Además, que es uno de los parámetros más importantes para el dimensionamiento del colector solar.

El cual se obtiene mediante la siguiente expresión que se establece por medio de la ecuación antes mencionadas [52, 74, 61].

$$A_c = \frac{\dot{m} \cdot c_p \cdot (T_0 - T_i)}{G_T \cdot \eta} \quad (17)$$

Donde:

\dot{m} : Cantidad de agua a calentar, $\left[\frac{kg}{s} \right]$

c_p : Calor específico del agua $4.187 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

T_0 : Temperatura de uso del agua en el mueble sanitario, $[^{\circ}C]$

T_i : Temperatura del agua fría que ingresa al dispositivo de calentamiento, $[^{\circ}C]$

2.3.3 Eficiencia global del calentador.

Según Guevara Vásquez [59]. La eficiencia se define, como el % de la radiación emitida por el sol en forma global incidente sobre la superficie del colector y que es aprovechado como el calor útil [62].

$$\eta = \frac{Q_{util}}{A_c \cdot G_T} = F_R \cdot \left[(\tau\alpha) - U_L \cdot \frac{T_i - T_0}{G_T} \right] \quad (18)$$

Donde:

G_T : Radiación solar promedio, $\left[\frac{W}{m^2} \right]$

2.3.4 Balance de energía en el calentador solar

El balance de energía se realiza con la finalidad de obtener el calor que es útil y se transmite para establecer el porcentaje de eficiencia de un calentador que usa energía solar, siendo Q_{util} una parte de la radiación en forma global que incide en el colector solar $H_T \cdot A_c$ [59].

A continuación, se muestra un gráfico esquemático de los componentes básicos que posee un calentador solar y de los elementos que es necesario realizar el balance de energía.

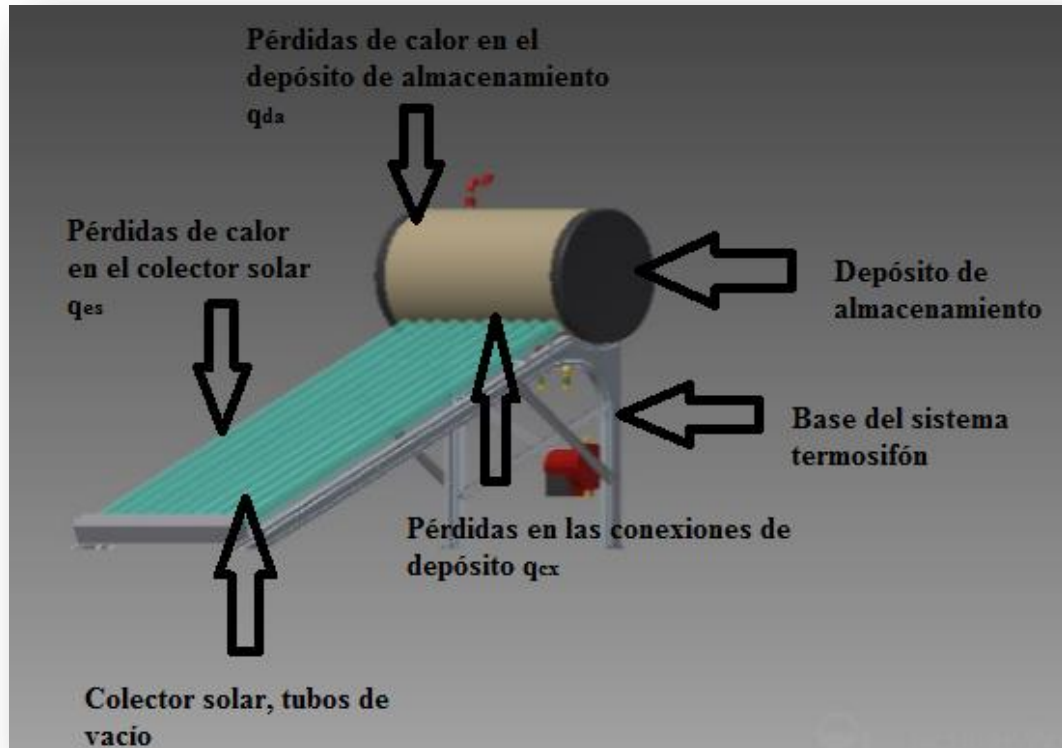


Figura 19. Partes y pérdidas de calor del calentador solar termosifón.

El balance de energía se encuentra expresado analíticamente como menciona [59].

$$H_T \cdot A_e = Q_{util} + q_{es} + q_{da} + q_{cx} \quad (19)$$

Donde:

Q_{util} : Ganancia de calor útil

q_{es} : Pérdidas de calor en el colector solar

q_{da} : Pérdidas de calor en el depósito de almacenamiento

q_{cx} : Pérdidas de calor en las conexiones colector deposito

En la siguiente figura se muestra esquemáticamente las distintas pérdidas de calor que se producen en un calentador solar.

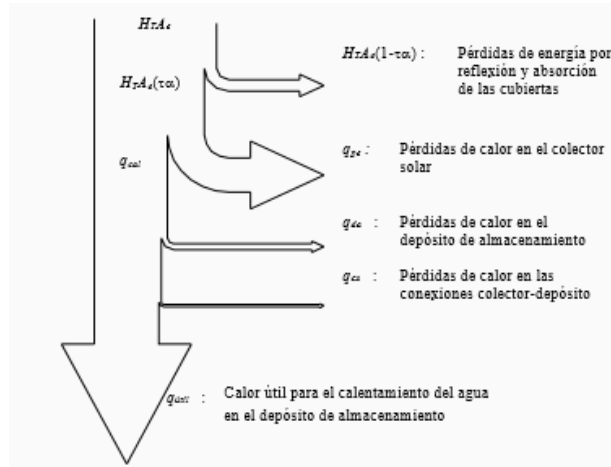


Figura 20. Diagrama de balance de energía de un calentador solar [59].

2.3.4.1 Pérdidas de calor en el colector solar

La disminución de la radiación global que incide en el colector, es provocada por características propias de la reflexión y absorción de la cubierta que posee el colector solar. [59].

$$H_T \cdot A_e \cdot (\tau \alpha) = q_{cal} + q_{es} + \frac{dU}{dt} \quad (20)$$

Donde:

$\frac{dU}{dt}$: Almacenamiento de energía en el colector que es despreciable

q_{cal} : Calor utilizado para calentar el agua

q_{es} : Pérdidas de calor en el colector solar

$\tau \alpha$: Factor de corrección.

La relación entre las ecuaciones (19) y (20), se obtiene como resultado.

$$q_{es} \cdot (\tau\alpha) = q_{es} \quad (21)$$

Para la determinación de las pérdidas de calor en el colector se asocian las pérdidas por conducción, convección y radiación en los diferentes medios que conforman el tubo absorbedor [59, 75, 52].

$$q_{ee} = U_L \cdot A_c \cdot (T_p - T_a) \quad (22)$$

Donde:

U_L : Coeficiente total de transferencia de calor

El coeficiente total de transferencia de calor U_L se determina a través de la siguiente expresión [59, 52].

$$U_L = U_{fo} + U_{sup} + U_l \quad (23)$$

Donde:

U_{fo} : Conductancia en la parte inferior, $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$

U_{sup} : Conductancia en la parte superior, $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$

U_l : Conductancia en la parte lateral, $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$

En la siguiente figura se muestra en esquema sencillo de un circuito de resistencia para ayuda en los cálculos.

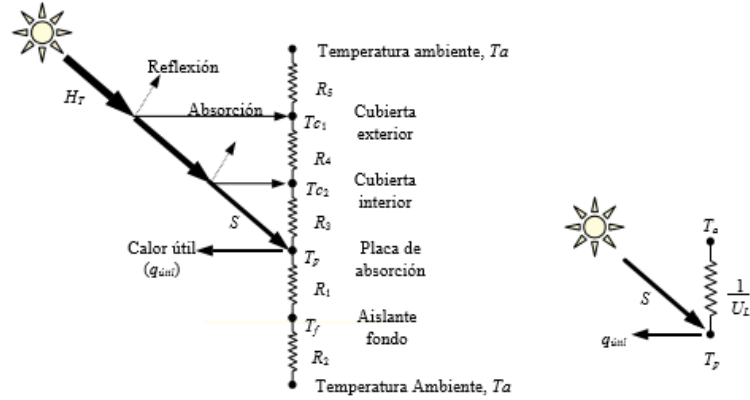


Figura 21. Circuito de resistencias.

2.3.4.1.1 Conductancia en la parte inferior (U_{fo})

Menciona Kalogirou [53] la pérdida de energía en la parte inferior del colector se realiza primero a través del aislamiento y luego por una convención combinada y transferencia de radiación al aire ambiente circundante [59].

$$U_{fo} = \frac{1}{R_1 + R_2} \quad (24)$$

Donde:

R_1 : Conductividad del aislante k_a y la longitud transversal, Por lo tanto $R_1 = \frac{l}{ka}$.

R_2 : Coeficiente convectivo de transferencia de calor entre la placa de absorción y el ambiente $R_2 = \frac{1}{hfo}$.

Cuando $R_2 \ll R_1$, entonces R_2 se desprecia y la conductancia en la parte inferior resulta como [59].

2.3.4.1.2 Conductancia en la parte superior (U_{sup})

La conductancia se determina mediante las resistencias térmicas R_3, R_4, R_5 , mostradas en la tabla 7, y la ecuación para el cálculo es la siguiente [59].

$$U_{\text{sup}} = \frac{1}{R_3 + R_4 + R_5} \quad (25)$$

Donde:

R_3 : Resistencia térmica entre la placa de absorción y la cubierta interior.

$$R_3 = \frac{T_p - T_{c2}}{hc_2 + hr_2 - (T_p - T_a)} \quad (26)$$

El coeficiente que transfiere el calor por efecto de la radiación entre la placa de absorción y la cubierta interior (h_{R2}) se puede calcular con la ecuación que se establece a continuación.

$$h_{R2} = \frac{\xi \cdot (T_p + T_{c2}) \cdot (T_p^2 + T_{c2}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_{c2}} - 1} \quad (27)$$

Donde:

ξ : Constante de Boltzman [74].

T_{c1} : Temperatura promedio de la cubierta exterior.

T_{c2} : Temperatura promedio de la cubierta interior.

h_{c2} : Coeficiente de transferencia de calor entre la placa y la cubierta interior.

ε_{c2} : Emitancia de la cubierta interior.

ε_p : Emitancia de la placa de absorción en el infrarrojo.

R_4 : Resistencia térmica entre la cubierta exterior y la cubierta interior.

$$R_4 = \frac{T_{c2} - T_{c1}}{(h_{c1} + h_{R1}) \cdot (T_{c2} - T_{c1})} \quad (28)$$

El coeficiente que transfiere el calor por efecto de la radiación entre las cubiertas interior y exterior (h_{R1}) se puede determinar de la siguiente manera [59] .

$$h_{R1} = \frac{\xi \cdot (T_{c1} + T_{c2}) \cdot (T_{c1}^2 + T_{c2}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_{c2}} + \frac{1}{\varepsilon_{c1}} - 1} \quad (29)$$

Donde:

ε_{c1} : Emitancia de la cubierta exterior.

h_{c1} : Coeficiente de transferencia de calor entre las cubiertas exterior e interior.

Se procede a realizar el cálculo de la última resistencia.

R_5 : Resistencia térmica entre la cubierta exterior y el medio ambiente.

$$R_5 = \frac{T_{c1} - T_a}{(h_{\infty} + h_{fir}) \cdot (T_{c1} - T_a)} \quad (30)$$

El coeficiente que transfiere el calor por efecto de la radiación entre las cubiertas exterior e interior (h_{fir}) se obtiene así [59] .

$$h_{fir} = \xi \cdot \varepsilon_{c1} \cdot (T_{c1} - T_a) \cdot (T_{c1}^2 + T_a^2) \quad (31)$$

Donde:

h_{∞} : Coeficiente que transfiere el calor por efecto de la convección entre la cubierta y el ambiente.

Menciona Kalogirou [53] que para el cálculo de la conductancia en la parte superior se puede realizar mediante la siguiente ecuación directa, por motivos que las ecuaciones antes mencionadas se las debe realizar por método de iteraciones.

$$U_{\text{sup}} = \frac{1}{N_g} + \frac{\xi \cdot (T_p^2 + T_a^2) \cdot (T_p + T_a)}{\frac{1}{\frac{C}{T_p} \cdot \left[\frac{T_p - T_a}{N_g + f} \right]^{0.33} + \frac{1}{h_w}} + \frac{2N_g + f - 1}{\varepsilon_g} - N_g \quad (32)$$

Donde:

f : Se determina mediante la siguiente ecuación.

$$f = (1 - 0.04 \cdot h_w + 0.0005 \cdot h_w^2) \cdot (1 + 0.091 \cdot N_g) \quad (33)$$

C : Se determina mediante la siguiente ecuación.

$$c = 365.9 \cdot (1 - 0.00883 \beta) + 0.0001298 \beta^2 \quad (34)$$

h_w : Según [53] el valor mínimo promedio de las condiciones del aire es $5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

ε_p : Emisividad del cobre 0.10

ε_g : Emisividad del vidrio 0.88

2.3.4.1.3 Conductancia en la parte lateral (U_l)

De una forma similar, el coeficiente de transferencia de calor para la pérdida desde los bordes del colector se puede obtener de [52, 59].

$$q_l = U_l \cdot A_c \cdot (T_p - T_a) = \frac{k_a \cdot h \cdot P}{l} \cdot (T_p - T_a) \quad (35)$$

En la igualación de ecuaciones se obtiene.

$$U_l = \frac{k_a' \cdot h \cdot P}{l' \cdot A_c} \quad (36)$$

Según Kalogirou [53] los valores típicos del coeficiente de pérdida de calor de los bordes se encuentran en un rango de $1.5 - 2.0 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$.

Donde:

P : Perímetro del colector solar es 1.5 m

h : Altura desde el suelo hasta el colector solar 0.70 m

l' : Espesor del aislante en los costados 0.005 m

k_a' : Conductividad del aislante en los costados

2.3.4.2 Pérdidas de calor en el depósito de almacenamiento

Las pérdidas de calor que se produce en el depósito de almacenamiento se expresan mediante la ecuación que se establece a continuación [59].

$$q_{da} = U_{da} \cdot A_{da} \cdot (T_{fda} - T_a) \quad (37)$$

Donde:

U_{da} : Coeficiente global de pérdidas de calor en el depósito de almacenamiento.

Menciona Burbano *et al* [77] que, para la evaluación de pérdidas de calor en el depósito, se sigue el procedimiento donde mediante el criterio de American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) las pérdidas de encuentran determinadas así: $0.0212 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$

A_{da} : Área externa del depósito de almacenamiento: 1.466 m^2

T_{fda} : Temperatura promedio del agua dentro del depósito de almacenamiento: $70 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.3.4.3 Pérdidas de calor en las conexiones

Como establece Guevara Vásquez [59] el balance de energía en las conexiones se divide en pérdidas de la conexión de agua fría y en la conexión de agua caliente, así.

$$q_{cx} = U_{cx} \cdot A_{cx} \cdot (T_{fcx} - T_a) \quad (38)$$

Donde:

U_{cx} : Coeficiente global de pérdidas de calor en las conexiones.

A_{cx} : Área externa de las conexiones.

T_{cx} : Temperatura promedio del agua dentro del depósito de las conexiones.

2.3.5 Resolución de ecuaciones

En el mencionado ítem se procede a la resolución de las ecuaciones que se encuentran mencionadas anteriormente.

La resolución de los parámetros solares que se encuentran mencionados en la tabla 7. Se realizaran a continuación tomando en cuenta los parámetros necesarios y obtenidos mediante las pruebas realizadas en el proyecto.

2.3.5.1.1 Angulo de hora solar

El desplazamiento realizado por el sol desde el este hacia el oeste se calculó mediante la referencia de la radiación que se obtiene a las 12 horas del mediodía.

$$\omega = (n - 12) \cdot 15$$

$$\omega = (12 - 12) \cdot 15$$

$$\omega = 0$$

2.3.5.1.2 Posición angular

La posición angular que se encuentra en pichincha referente a la línea ecuatorial es la siguiente:

$$\phi = -0.1466$$

2.3.5.1.3 Angulo de declinación solar

Es el ángulo entre la línea ecuatorial y la línea de unión del sol y la tierra, para realizar los cálculos en el mencionado proyecto adoptó como día referencial, el día 174 del año partiendo desde el primero de enero es decir el 23 de junio.

$$\delta = 23.45 \cdot \sin \left[360 \cdot \left(\frac{284 + n}{365} \right) \right]$$

$$\delta = 23.45 \cdot \sin \left[360 \cdot \left(\frac{284 + 174}{365} \right) \right]$$

$$\delta = 23.43^\circ$$

2.3.5.1.4 Angulo de altitud solar

Ángulo formado por el horizonte y el centro del disco solar, el cálculo del ángulo de altitud solar se realiza mediante los parámetros antes mencionados y establecidos.

$$\sin \beta = \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta$$

$$\sin \beta = \cos(-0.1466) \cdot \cos 23.34 \cdot \cos 0 + \sin(-0.1466) \cdot \sin 23.43$$

$$\beta = 66.42^\circ$$

2.3.5.1.5 Angulo de incidencia solar

El centro del disco solar y el cenit es llamado ángulo de incidencia solar.

$$\cos \theta_z = \sin \omega \cdot \sin(\phi - \beta) + \cos \delta \cdot \cos(\phi - \beta) \cos \omega$$

$$\cos\theta_z = \sin 0 \cdot \sin(-0,1466 - 66,42) + \cos 23,43 \cdot \cos(-0,1466 - 66,42) \cos 0$$

$$\theta_z = 68.59^\circ$$

2.3.5.1.6 Radiación directa

La radiación directa es la que ingresa sin ninguna perturbación, se encuentra establecida mediante las siguientes ecuaciones:

La radiación extraterrestre se encuentra analizada mediante la ecuación que se muestra a continuación.

$$I_e = G_{sc} \cdot \left[1 + 0.034 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right]$$

$$I_e = 1367 \cdot \left[1 + 0.034 \cos\left(\frac{360 \cdot 174}{365}\right) \right]$$

$$I_e = 1321.02 \frac{W}{m^2}$$

La transmitancia atmosférica se determina mediante la ecuación (4).

$$\tau_t = a_0 + a_1 \exp\left(-\frac{k}{\cos\theta_z}\right)$$

$$\tau_t = 0.97 + 0.99 \exp\left(-\frac{1.02}{\cos(68.59)}\right)$$

$$\tau_t = 1.99$$

Con los parámetros obtenidos anteriormente se procede al cálculo de la radiación directa.

$$G_{dir} = \eta \cdot I_e \cdot \cos\theta_z$$

$$G_{dir} = (1) \cdot (1321.62) \cdot (1.99) \cdot (0.841)$$

$$G_{dir} = 2210.85 \frac{W}{m^2}$$

2.3.5.1.7 Radiación difusa

Es la radiación que es modificada su dirección por nubes, polvo, etc... Para el cálculo de la radiación difusa se utiliza la ecuación (7), además se necesita determinar parámetros tales como los que se encuentran determinados posteriormente.

El factor difuso de cielo que se encuentra determinado por medio de la siguiente ecuación:

$$F_{dif} = 0.1207 + 0.0179 \cdot \sin[0.0203 \cdot (174) + 3.9798]$$

$$F_{dif} = 0.114$$

La relación entre la radiación difusa del cielo sobre una superficie vertical y la superficie horizontal, se calcula por:

$$R_{dif} = 0.55 + 0.437 \cos \theta + \cos^2 \theta$$

$$R_{dif} = 0.55 + 0.437 \cos(68.59) + \cos^2(68.59)$$

$$R_{dif} = 1.624$$

Al utilizar los cálculos anteriores

$$G_{dif} = F_{dif} \cdot R_{dif} \cdot I_e \cdot \tau_t \cdot \frac{1 + \cos \varphi}{2}$$

$$G_{dif} = (0.114) \cdot (1.624) \cdot (1321.02) \cdot (1.99) \cdot \frac{1 + \cos(-0.1466)}{2}$$

$$G_{dif} = 478.63 \frac{W}{m^2}$$

2.3.5.1.8 Caudal instantáneo

Para la suma de los caudales mínimos en los aparatos sanitarios se realiza, reemplazando los parámetros que se encuentran mencionados en la tabla 11 en la ecuación (11), se puede obtener el causal simultáneo.

$$Q_c = A \cdot (Q)^B + C$$

$$Q_c = 0.0682 \cdot (0.38)^{0.450} - 0.140$$

$$Q_c = 0.301 \frac{l}{s}$$

2.3.5.1.9 Demanda de consumo

En la tabla que se muestra a continuación se determinó la demanda de agua caliente sanitaria, mediante el reemplazo realizado de la ecuación 12 en la ecuación 13 y el número de días que posee cada mes del año, además de tomar en cuenta la variación de temperatura entre la temperatura del agua fría de la red de suministro y la temperatura de consumo doméstico [72, 71].

El volumen de agua que se necesita para el cálculo de la demanda de agua se encuentra mediante la ecuación (12), que se presenta continuación.

$$V = \# \text{ personas} \cdot \text{Demanda de referencia a } 60^\circ\text{C}$$

$$V = 1 \cdot 30$$

$$V = 30 \frac{l}{\text{día}}$$

Tabla 13 Demanda de consumo de agua cada mes [71].

Mes	Días	Consumo/día (m^3)	Consumo total	T_{red} ($^\circ\text{C}$)	T_s ($^\circ\text{C}$)	ΔT ($^\circ\text{C}$)	D_{ACS} (MJ)
Enero	31		0,93	14		31	120,71
Febrero	28		0,84	14		31	109,03
Marzo	31		0,93	14		31	120,71
Abril	30		0,9	14		31	116,82
Mayo	31		0,93	14		31	120,71
Junio	30		0,9	14		31	116,82
Julio	31	0.03	0,93	14	45	31	120,71
Agosto	31		0,93	14		31	120,71
Septiembre	30		0,9	14		31	116,82
Octubre	31		0,93	14		31	120,71
Noviembre	30		0,9	14		31	116,82
Diciembre	31		0,93	14		31	120,71

2.3.5.1.10 Energía demandada para ACS

La energía consumida por un calentador de agua sanitaria se calcula mediante la expresión siguiente, se reemplaza los valores obtenidos en la ecuación (14), para calcular la energía que demanda para la obtención de ACS.

$$E_r = V \cdot (T_{out} - T_{in})$$

$$E_r = 60 \cdot (45 - 14)^\circ C$$

$$E_r = 1.62 \frac{kW \cdot h}{día}$$

2.3.5.1.11 Calor útil del colector

La radiación que absorbe el colector solar se denomina calor útil, se encuentra determinado mediante la ecuación (16), que se encuentra a continuación.

$$Q_{util} = A_c \cdot \left[G_T \cdot (\tau\alpha) - U_L \cdot (T_p - T_a) \right] = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_0 - T_i)$$

$$Q_{util} = A_c \cdot \left[(6.94 \times 10^{-4}) \cdot (4.186) \cdot (45 - 14) \right]$$

$$Q_{util} = 0.090 \text{ kW}$$

2.3.5.1.12 Área del colector

El área de un colector solar es la superficie donde se produce el intercambio de calor en el fluido, para determinar el área del colector solar, se utiliza la ecuación (17) y se toma como referencia una eficiencia del 50%.

$$A_c = \frac{\dot{m} \cdot c_p \cdot (T_0 - T_i)}{G_T \cdot \eta}$$

$$A_c = \frac{0.090}{(0.1416) \cdot (0.5)}$$

$$A_c = 1.3 m^2$$

2.3.5.1.13 Balance energético del colector solar

Son las pérdidas de calor que se establece en la cara frontal se determinan mediante la ecuación (24) que se encuentra a continuación.

La conductividad térmica para el aislante Poliuretano es: $k_a = 0.028 \frac{W}{m \cdot K}$

$$U_{fo} = \frac{1}{R_1} = \frac{k_a}{l}$$

$$U_{fo} = \frac{0.028}{1.7}$$

$$U_{fo} = 0.016 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Las pérdidas que se producen en la sección superior del colector solar se encuentra determinado mediante la ecuación (32), y por lo siguientes parámetros.

$$f = \left[\left((1 - 0.04) \cdot (5) + (0.0005) \cdot (5)^2 \right) \cdot (1 + (0.091 - 2)) \right]$$

$$f = 1.99$$

$$c = \left[365.9 \cdot \left(1 - (0.00883 \cdot (35)) + 0.0001298 \cdot (35)^2 \right) \right]$$

$$c = 311$$

$$U_{sup} = \frac{1}{\frac{311}{353} \cdot \left[\frac{353 - 288}{2 + 1.99} \right]^{0.33} + \frac{1}{5}} + \frac{0.00567 \cdot (353^2 + 288^2) \cdot (353 + 288)}{\frac{1}{0.10 + 0.05 \cdot 2 \cdot (1 - 0.10)} + \frac{2 \cdot 2 + 1.99 - 1}{0.88} - 2}$$

$$U_{sup} = 0.12 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Las pérdidas que se producen en la sección lateral del colector solar se determina mediante la ecuación (36).

$$U_L = \frac{(0.028) \cdot (0.7) \cdot (5.1)}{(0.005) \cdot (1.3)}$$

$$U_L = 1.5 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Las pérdidas que se producen en el colector solar se determinan mediante la ecuación (23):

$$U_L = U_{fo} + U_{sup} + U_l$$

$$U_L = (0.016) + (0.12) + (1.5)$$

$$U_L = 1.78 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

El balance energético está establecido mediante la ecuación (22), pero se necesita de los siguientes parámetros determinados a continuación.

$$q_{es} = U_L \cdot A_c \cdot (T_p - T_a)$$

$$q_{es} = (1.78) \cdot (1.3) \cdot (353 - 288)$$

$$q_{es} = 150.4 \text{ W}$$

Las pérdidas de calor que se producen en el depósito de almacenamiento se expresan mediante la ecuación (37), que se establece a continuación.

Mencionan Burbano *et al* [77], para la evaluación de pérdidas de calor en el depósito, se sigue el procedimiento en donde mediante el criterio de ASHRAE las pérdidas se encuentran determinadas de la siguiente manera: $U_T = 0.212 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}$, el área del depósito es 1.466 m^2 y la temperatura promedio dentro del tanque es 70°C .

$$q_{da} = U_{da} \cdot A_{da} \cdot (T_{fda} - T_a)$$

$$q_{da} = (0.212) \cdot (1.466) \cdot (80 - 15)$$

$$q_{da} = 17.09 \text{ W}$$

2.4 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

- Se determinaron parámetros solares los cuales relacionan las pérdidas del colector con la temperatura que se alcanza en el último punto de consumo que es la ducha del domicilio.
- Mediante los cálculos realizados se pudo determinar que el área necesaria del colector para satisfacer la demanda de 60 l al día es de $1.3 \cdot \text{m}^2$.

CAPÍTULO III

En el presente capítulo se desarrollará el proceso de ensamblaje y pruebas del sistema de calentamiento solar atmosférico termosifón.

A continuación se muestra un esquema general, las partes por las cuales se encuentra conformado el sistema son:

- Tanque acumulados
- Colector solar (tubos de vacío)
- Estructura metálica
- Bomba de apoyo
- Tubería de entrada de agua fría
- Tubería de salida de agua caliente

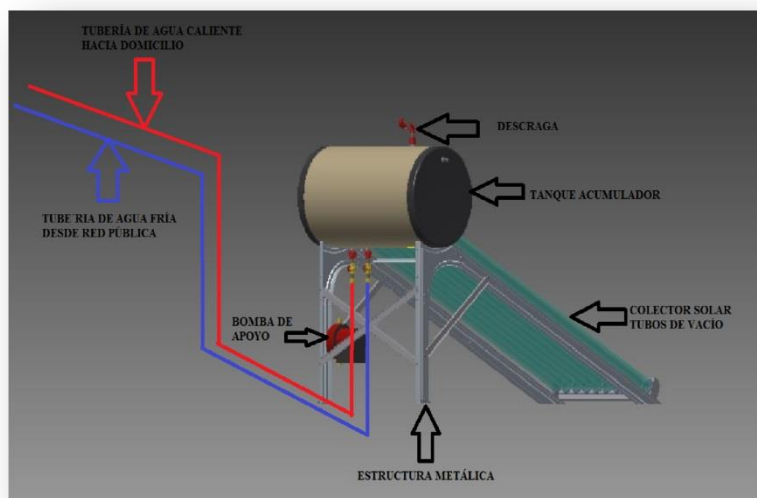


Figura 22. Esquema general sistema termosifón.

3.1 PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN

El proceso de implementación empieza al encontrar la empresa indicada que contó con los implementos para un sistema de calentamiento solar termosifón cumpliendo con los parámetros antes calculados.

La empresa Asistencia Técnica Profesional (ASTEP), se encuentra ubicada en el sector la Pulida, en las calles OE-11 N53-74 y Jorge Piedra, donde se encontró personal capacitado y asesoría indicada para por obtener el sistema.

3.2 PROCESO DE ENSAMBLAJE

3.2.1 Tanque acumulador

El tanque acumulador se encuentra conformado por material primario que es acero galvanizado, cuenta con aislamiento de espuma de poliuretano con un espesor de 0.31 mm.

3.2.2 Tubos de vacío

Los tubos de vacío los cuales para cumplir con la capacidad de 100 l son un número de 10. Los tubos están conformados por láminas de Aluminio (AL) y cobre (Cu) incrustados dentro del vidrio, estos elementos ayudan a la absorción de radiación solar que se transmite al agua que se encuentra dentro de los tubos y calientan el fluido como se puede observar en las Figuras 22 y 23.

Para la visualización se agrega la siguiente figura.



Figura 22. Tubos de vacío.

En la figura continua se muestra el interior de los tubos de vacío del sistema termosifón.



Figura 23. Láminas de Al y CU dentro de los tubos.

3.2.3 Estructura de la base

La estructura está conformada de acero inoxidable de varias piezas las cuales se encuentran unidas mediante pernos y tuercas para su fijación y sirva de apoyo al tanque acumulador en conjunto con los tubos de vacío.

La estructura cuenta con un soporte en la parte inferior donde los tubos de vacío pueden ser insertados y quedan fijos como se muestran en las Figuras 24 y 25.

Se puede observar el ensamblaje de la estructura base.



Figura 24. Estructura base de acero inoxidable.

A continuación se muestra el montaje de la estructura base asegurada por tornos y tuercas.



Figura 25. Soporte inferior de los tubos de vacío unido por pernos y tuercas.

En la Figura 26 se puede observar la estructura unida todas sus partes y fijadas correctamente para que soporte el tanque acumulador.



Figura 26. Estructura base completa de acero inoxidable.

3.2.4 Inserción de tubos de vacío

La inserción de los tubos de vacío se realiza mediante de lubricación en sus extremos superiores con agua y jabón para finalmente ser asegurados con anillos de caucho para que no exista fugas en la unión del tubo de vacío con el tanque acumulador como se muestra en la Figura 27.

Se muestra la inserción de tubos del 80 % en el tanque acumulador.



Figura 27. Inserción de tubos de vacío en tanque acumulador y base inferior.

3.2.5 Instalación de bomba agua de apoyo, tuberías de succión y descarga

Se realizó la instalación de una bomba para que ayude al sistema a presurizar la descarga de agua hacia los puntos de consumo, también se realizó instalación de tubería PUSH- FIT por su fácil maniobrabilidad y flexibilidad hasta llegar a las tomas domiciliarias que son de Policloruro de Vinilo (PVC) cedula 40 como se muestra en la Figura 28 y 29.

En la figura se muestra la bomba de apoyo con accionamiento por energía eléctrica.



Figura 28. Conexión de bomba de apoyo, tuberías de succión y descarga.

En la figura continua se muestra la conexión a las tuberías del domicilio.



Figura 29. Conexión a las tuberías del domicilio.

3.3 PRUEBAS DEL SISTEMA

Para el inicio de toma de datos en el sistema se debe inspeccionar las instalaciones por lo cual se realizan actividades varias las cuales comprenden: Inspección de fugas en el sistema dólar atmosférico, inspección de fugas en las instalaciones e inspección de estructura del sistema. Las inspecciones se realizaron en la fecha: 03-Junio-2017.

3.3.1 Inspección de fugas en el sistema de calentamiento de agua

Mediante una exhaustiva inspección visual de todos los elementos del sistema de calentamiento de agua solar atmosférico y cargado previamente de agua se determina la correcta instalación del sistema.

Se tomaron en cuenta varios puntos de inspección que se detalla en la Tabla 15.

Tabla 14 Inspección de fugas en el sistema solar atmosférico

Inspección de fugas de agua en el sistema solar atmosférico	
Elemento	Realizado
Acoples en la tubería de succión agua fría	X
Acoples en la tubería de descarga agua caliente	X
Inserción tubos de vacío al tanque	X

3.3.2 Inspección de fugas en las instalaciones

Para asegurar que no existirán daños en el domicilio debido a fugas en la tubería instalada se realiza la inspección de todas las uniones realizadas.

Los puntos a inspeccionar se detallan en la Tabla 15.

Tabla 15 Inspección de fugas en las instalaciones

Inspección de fugas en las instalaciones	
Elemento	Realizado
Acople de la toma de agua fría de la red pública	X
Acople de la toma de agua caliente de ingreso a los puntos de consumo	X
Tubería sin quebraduras y fisuras	X

3.3.3 Inspección de estructura base

Se realiza la inspección de la estructura del sistema para que no exista riesgo de caídas del tanque acumulador o quebraduras de los tubos de vacío por lo cual se inspeccionan los todos los elementos de la estructura y sus uniones.

En la siguiente tabla se muestra los parámetros que se inspeccionó después de la instalación.

Tabla 16 Inspección de estructura base

Inspección de estructura del sistema solar termosifón	
Elemento	Realizado
Acople de la toma de agua fría de la red pública	X
Acople de la toma de agua caliente de ingreso a los puntos de consumo	X
Tubería sin quebraduras y fisuras	X

3.3.4 Toma de datos del sistema de calentamiento de agua

Para la medición de las temperaturas en el agua en los puntos de consumo del domicilio se utilizó un termómetro de laser que mide temperaturas desde -30 °C hasta 330 °C (Ver Anexo B).

En la Figura 30, se muestran los datos de la temperatura del agua en el tanque acumulador, tomados desde el miércoles 07 de Junio del 2017 hasta el martes 04 de Julio del mismo, donde los datos se tomaron cada hora.

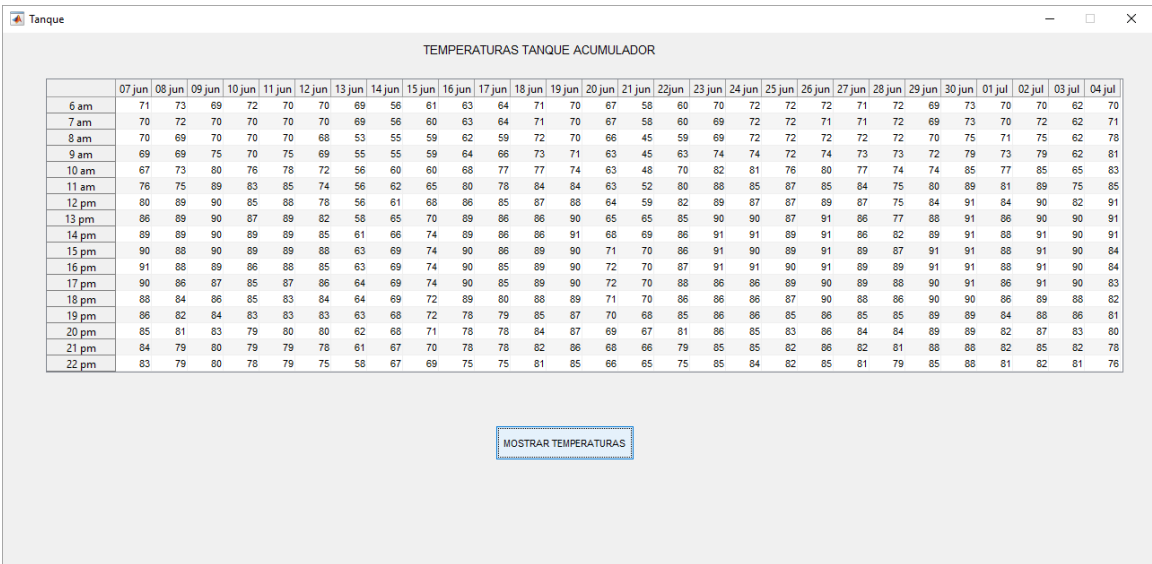


Figura 30. Datos de temperaturas en el tanque acumulador.

Una vez que se tomaron los datos de temperatura del agua dentro del tanque acumulador desde el 7 de junio hasta el 4 de julio del presente año, desde las 6 am hasta las 22 pm se obtiene como temperatura promedio 78 °C.

Una vez tomada la temperatura del agua en el tanque acumulador se procedió a tomar datos de la temperatura del agua en el primer punto de consumo del domicilio que es el fregadero de cocina, para lo cual se muestran los datos tomados en la Figura 31.

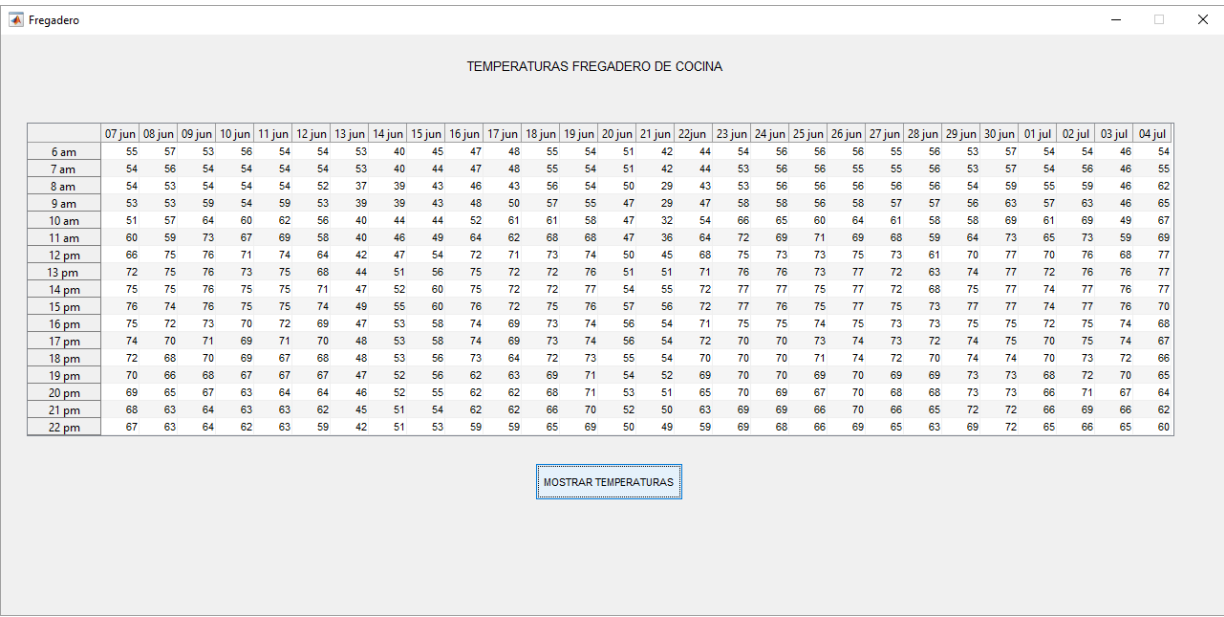


Figura 31. Datos de temperaturas en el fregadero de cocina.

Una vez realizada la medición de la temperatura en el primer punto de consumo del domicilio se obtiene una temperatura promedio de 63 °C, en 28 días de prueba del sistema termosifón, a diversas horas del día.

En la Figura 32 se muestra las diversas temperaturas que se obtuvo en el último punto de consumo del domicilio que referencia a la ducha.

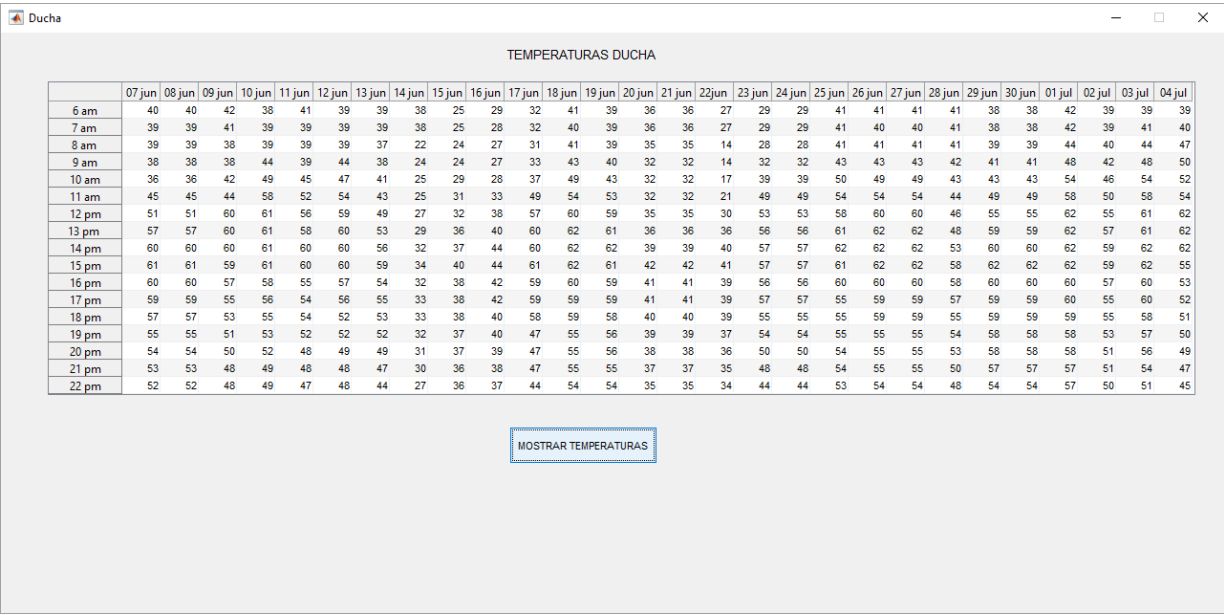


Figura 32. Datos de temperaturas en ducha.

Una vez finalizado el período de prueba del sistema de calentamiento de agua, se obtiene como resultado en el último punto de consumo una temperatura de 47 °C.

3.3.5 Análisis de resultados

En la Figura 30 se puede observar los datos de temperaturas del agua dentro del tanque acumulador, se empezó la toma de datos a las 6 am y finalizando a las 22 pm.

Con el avance del tiempo, se visualiza en la figura que a medida que el clima empieza a subir de temperatura por la salida del sol, la temperatura del agua dentro del tanque acumulador también incrementa, a las 6 am la temperatura promedio en el tanque es de 68 °C y al medio día donde los rayos del sol llegan en forma perpendicular en la tierra se llega a un promedio de 82 °C, pero esta no es el promedio de temperatura más alto, el promedio más alto de temperatura en el tanque es a las 15 pm con 86 °C.

En la Figura 31 se puede visualizar las temperaturas en el primer punto de consumo de ACS que es en el fregadero de cocina, en los cuales en la mañana al inicio de la toma de

datos se obtiene una temperatura promedio de 52 °C, al medio día se obtiene un promedio de 68 °C pero estas temperaturas van relacionadas con las de la figura anterior y no es el promedio de temperatura más alto, el promedio de temperatura más alto en el primer punto de consumo son a las 15 pm con 72 °C.

Las temperaturas en el último punto de consumo del domicilio es la ducha y se encuentran mostradas en la Figura 32, al igual que en las figuras anteriores se obtiene el promedio de temperatura a las 6 am con 37 °C, a la caída de los rayos del sol perpendicularmente sobre la tierra es decir al medio día se obtiene una temperatura promedio de 51 °C, pero la máxima temperatura viene dada a las 15 pm con 56 °C. Cumpliendo con el otro objetivo del ACS que es el confort de las persona.

3.3.6 Gráfica de datos del sistema de calentamiento de agua

En esta parte del capítulo se muestran las gráficas de los datos anteriores, donde se podrá observar los días en que alcanzó la máxima y mínima temperatura el sistema de calentamiento de agua.

3.3.6.1 Gráficas temperatura vs tiempo (tanque acumulador)

En la Figura 33 se muestra las variación de temperatura en el tanque acumulador de los 10 primeros días de funcionamiento del sistema, por lo que se muestra una gráfica Temperatura vs Tiempo (horas).

En el Anexo A se podrá observar el comportamiento de la variación de temperatura con relación al tiempo de cada día desde la primera medición en el 07- Jun -2017 hasta el último día de mediciones 04 – Jul – 2017.

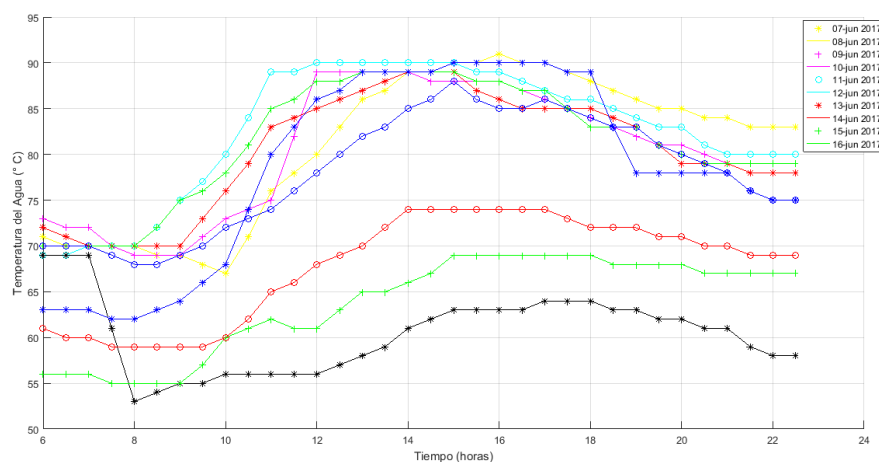


Figura 33. Tanque acumulador temperatura vs tiempo (07- Jun -2017 a 16- Jun -2017).

A continuación se muestra una figura de la variación de temperatura en los siguientes 10 días de funcionamiento.

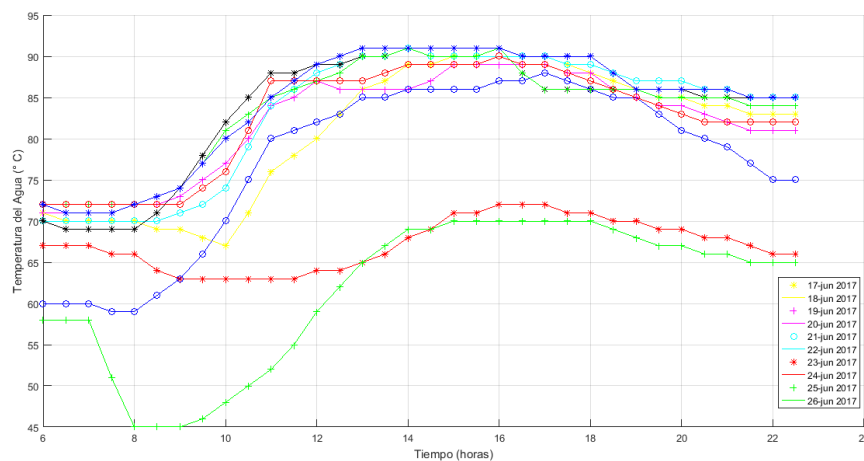


Figura 34. Tanque acumulador temperatura vs tiempo (17- Jun -2017 a 26- Jun -2017).

Para finalizar con las gráficas de variación de temperaturas en el tanque acumulador se presenta la figura a continuación:

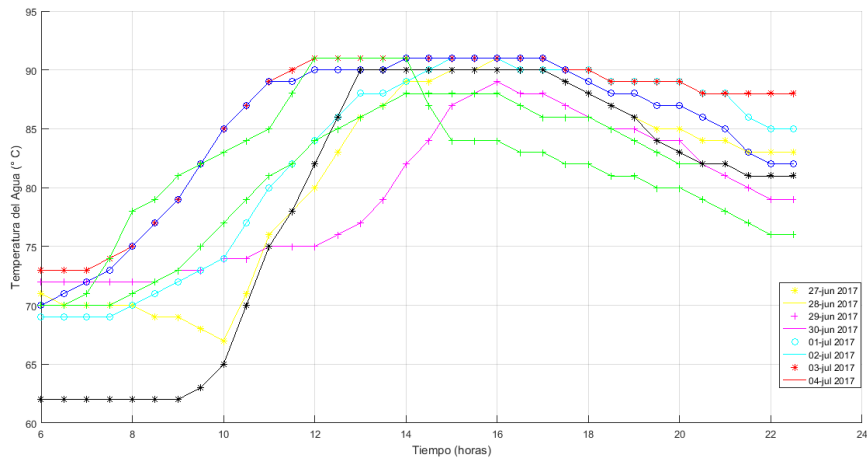


Figura 35. Tanque acumulador temperatura vs tiempo (27- Jun -2017 a 04- Jul -2017).

3.3.6.2 Gráficas temperatura vs tiempo (fregadero de cocina)

A continuación, se muestran las figuras que corresponden a la variación de la temperatura del agua en el primer punto de consumo del domicilio que es el fregadero de cocina.

En el Anexo A se muestran en forma individual la variación de temperatura en el agua que sale por el fregadero de cocina, que inicia el 07- Jun -2017 hasta 04- Jul -2017.

En la siguiente figura se muestra la temperatura de salida en el fregadero de cocina en los primeros días de pruebas.

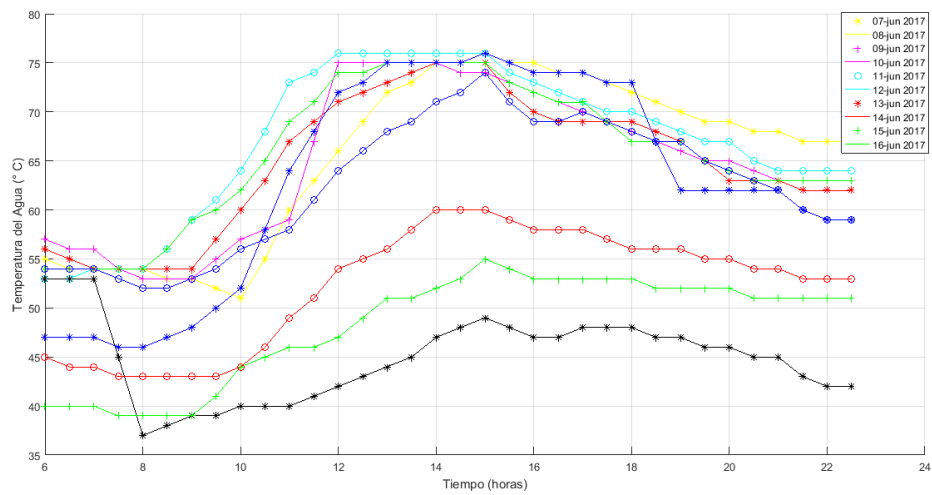


Figura 36. Fregadero de cocina temperatura vs tiempo (07- Jun -2017 a 16- Jun -2017).

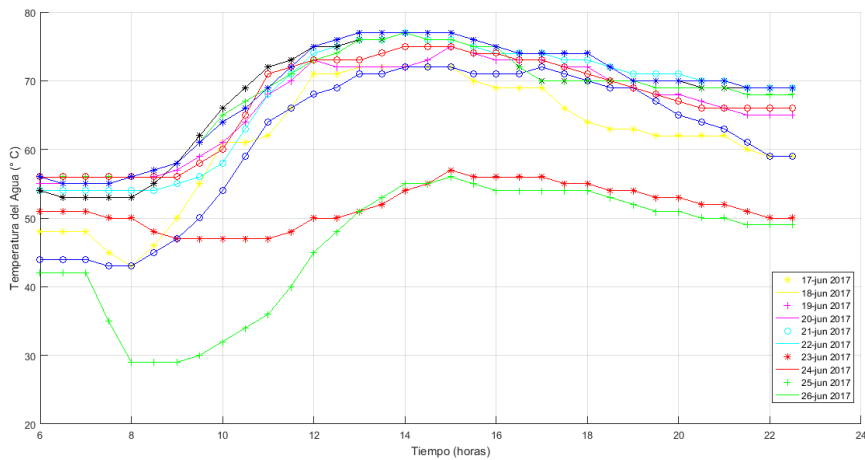


Figura 37. Fregadero de cocina temperatura vs tiempo (17- Jun -2017 a 26- Jun -2017).

En la siguiente gráfica se muestra el comportamiento de la temperatura en los últimos 8 días de pruebas.

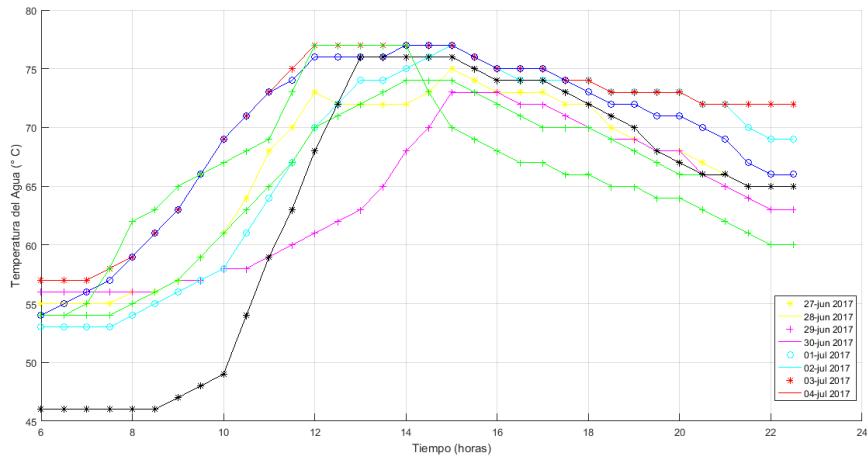


Figura 38. Fregadero de cocina temperatura vs tiempo (27- Jun -2017 a 04- Jul -2017).

3.3.6.3 Gráficas temperatura vs tiempo (ducha)

A continuación los gráficos muestran el comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo en el último punto de consumo de ACS que refiere a la ducha.

En el Anexo A detalla de forma individual la variación de temperatura en el agua de todos los días que se mantuvo a prueba el sistema con la iniciación el 07- Jun -2017 hasta el 04- Jul -2017.

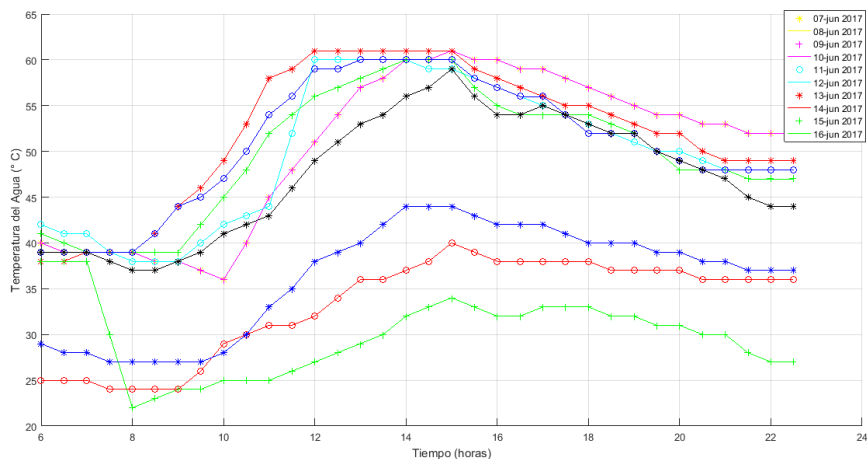


Figura 39. Ducha temperatura vs tiempo (07- Jun -2017 a 16- Jun -2017).

En la siguiente figura se muestra la variación de temperatura en la ducha del domicilio.

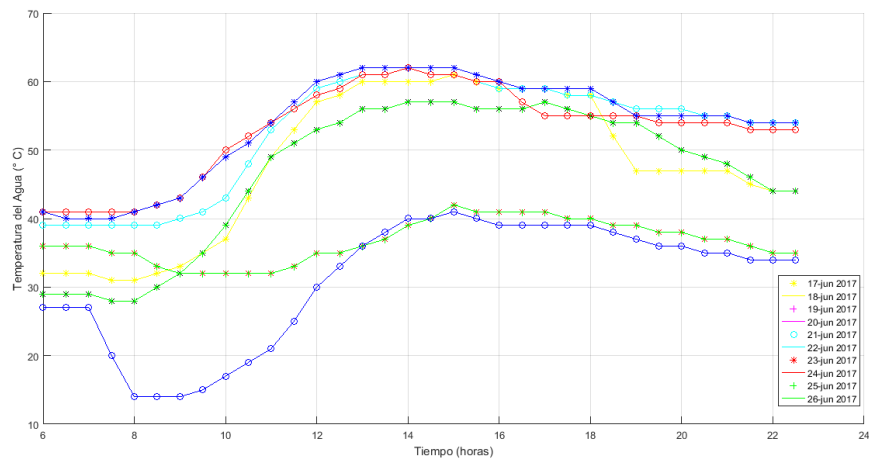


Figura 40. Ducha temperatura vs tiempo (17- Jun -2017 a 26- Jun -2017).

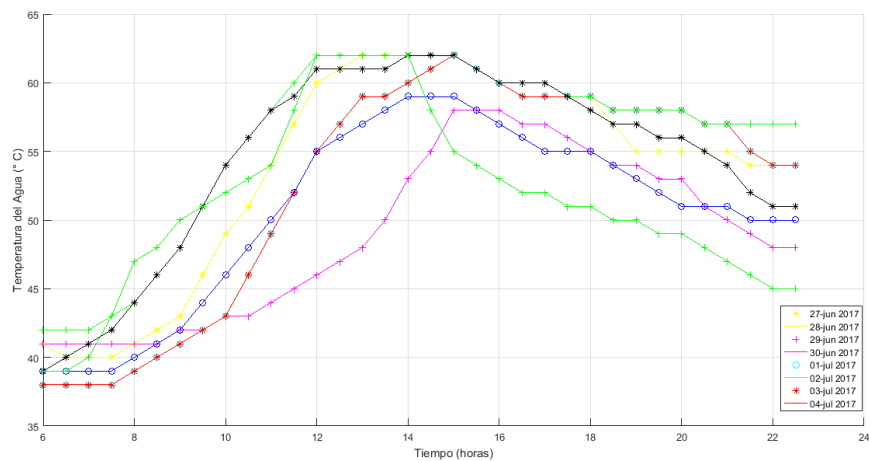


Figura 41. Ducha Temperatura vs Tiempo (27- Jun -2017 a 04- Jul -2017).

3.3.7 Análisis de resultados

En las figuras que muestran la variación de temperatura con respecto al tiempo en el tanque acumulador, se puede decir que el 30 de Junio del 2017 el agua que se acumuló en el tanque para el consumo sanitario alcanzó 91 °C y se mantuvo a esa temperatura por el lapso de 5 horas.

A pesar que en fechas como 26 de Junio del 2017 también el agua alcanza la temperatura de 91 °C, no se logra mantener por lapso prolongado de tiempo probablemente por factores ambientales o consumo de ACS.

En la Figura 37, 38 y 39 la temperatura del agua en el fregadero de cocina es en promedio superior a 63 °C, al igual que en el tanque acumulador tiene una temperatura máxima el día 30 de Junio del 2017 y se mantiene durante 4 horas.

Una vez finalizado el análisis del resultado de las gráficas se puede expresar que la temperatura promedio en la ducha es superior a 47 °C alcanzando su pico máximo el mismo día antes mencionados y manteniéndose por el mismo lapso de tiempo.

3.4 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

- Una vez instalado el sistema de calentamiento solar atmosférico termosifón el agua alcanza temperaturas superiores a 90 °C en el tanque acumulador y perdura por lapso de tiempo considerable, se concluye que existe un correcto aislamiento del mismo.
- Con el sistema en pleno funcionamiento sin apoyo de resistencia eléctrica, en el punto de consumo crítico que relaciona a la ducha del domicilio, se concluye que la temperatura promedio de 47 °C cumple con la temperatura de confort de 40 °C para consumo humano.
- La caída de temperatura entre el agua del tanque acumulador y la ducha tiene un promedio de 30 °C menos, esta considerable variación de temperatura se da por factores ambientales que afectan a las tuberías debido a que no cuentan con aislamiento térmico.

CAPÍTULO IV

En el presente capítulo se estudiarán los aspectos económicos del sistema de calentamiento de agua instalado, mediante este análisis se comprobará si el sistema de calentamiento solar atmosférico termosifón es rentable, se incluirán todos los gastos generados para la implementación del sistema de calentamiento de agua.

4.1 COSTOS DE INVERSIÓN

4.1.1 Costo de equipo y materiales

En la Tabla 17 se puede observar los gastos de materiales adquiridos para la implementación de sistema.

Tabla 17 Costo de equipos y materiales

Cantidad	Material	P. Unitario (USD)	P. Total (USD)
1	Sistema atmosférico 100 l	534.0.	534.0.
1	Bomba FPA15-190	172.00	172.00
1	Accesorios sistema atmosférico	105.26	105.26
1	Accesorios bomba FPA15-90	22.00	22.00
1	Accesorios de instalación	136.08	136.08
		V Total	974.80

4.1.2 Costos de mano de obra

El costo de mano de obra se realiza el cálculo para dos personas, con un valor de USD 120 por día, el ensamblaje del sistema termosifón se realiza en un día.

Tabla 18 Costo de mano de obra

	No. Personas	Horas trabajo	Costo Hora (USD)	Valor Total (USD)
Mano de obra	2	8	7.5	120
			V Total	120

4.1.3 Costos indirectos

Estos son los valores que no se pueden asignar directamente a un producto específico. Estos costos van relacionados con la alimentación del personal, movilización de equipos y materiales de oficina que fueron necesarios para la implementación del sistema.

Tabla 19 Costos indirectos

Descripción	P. Total (USD)
Alimentación personal	12.00
Transporte de equipos	30.00
Materiales de oficina	25.00
V Total	67.00

4.1.4 Costos totales

El costo total es la suma de todos los costos que se invirtió en el sistema, en la Tabla 20 se muestra en resumen los costos invertidos para la implementación del sistema de calentamiento de agua.

Tabla 20 Costos totales

Costo total		
Costo de equipo y materiales	984.80	USD
Costo de mano de obra	120.00	USD
Costos indirectos	67.00	USD
V Total	1171.18	USD

4.2 ESTUDIO FINANCIERO DEL SISTEMA SOLAR ATMOSFÉRICO TERMOSIFÓN

Una vez instalado el sistema de calentamiento de agua atmosférico termosifón y analizado los resultados de operación, se obtuvo 100 litros de ACS a una temperatura de 47 °C en el punto más desfavorable de consumo.

Además se pudo comprobar que el sistema de termosifón en condiciones meteorológicas favorables llega a una temperatura máxima de 91 °C tomando valores

desde las 6 am hasta las 22 pm, por lo cual cumple con los principales objetivos del calentamiento de agua sanitaria que es evitar la legionelosis y el confort de las persona. En base de los a los resultados que se obtuvieron en las pruebas realizadas por el lapso de 28 días se debe comprobar la rentabilidad para la instalación de un sistema de calentamiento de agua atmosférico termosifón, esta comprobación se realiza mediante un análisis financiero donde se debe tomar en cuenta parámetros como:

- Costos de mantenimiento y operación
- Valor Actual Neto (VAN)
- Tasa Interna de Recursos (TIR)
- Período de recuperación del de la inversión.

4.2.1 Costos de mantenimiento y operación

4.2.1.1 Costos de mantenimiento

El sistema se debe someter a mantenimiento cada 6 meses, a pesar de que el fabricante dice que el sistema no necesita mantenimiento, es necesario realizarlo periódicamente para poder comprobar el correcto funcionamiento del mismo. El mantenimiento debe ser preventivo y correctivo, el valor del mantenimiento preventivo es cercano a los USD 100 y el mantenimiento correctivo fluctúa en los 350.

Tabla 21 Costos de mantenimiento del termosifón

Costo de mantenimiento		
Mantenimiento preventivo	50.00	USD
Mantenimiento correctivo	100.00	USD
V Total	150.00	USD

4.2.1.2 Costos de operación

El costo de operación está dado por el consumo de agua, la producción de agua caliente sanitaria es de 100 litros al día.

Según EPMAAPS [78], en la ciudad de Quito el valor de agua por metro cubico es de USD 0.31, con lo cual en la siguiente tabla se muestran los valores de consumo diario, semanal, mensual y anual del termosifón.

Tabla 22 Costo consumo de agua potable en el sistema termosifón

Costo de consumo de agua		
Consumo	m ³	USD
Diario	0.1	0.03
Semanal	0.7	0.22
Mensual	3.0	0.93
Anual	36.5	11.32

4.2.1.3 Depreciación del valor del sistema

Para el cálculo del valor de la depreciación del equipo se aplica el método de línea recta, que según Sullivan *et al.* [79], menciona que es el método de depreciación más sencillo.

$$d_k = \frac{B - VR_N}{N} \quad (39)$$

Donde:

d_k : Deducción anual por depreciación en el año [USD]

B : Valor estimado del sistema [USD]

VR_N : Valor estimado de rescate al final del año

N : Vida depreciable del activo [años]

Para poder determinar el valor de la depreciación por cada año de uso del sistema, se considera que el valor estimado de rescate al fin del año es de USD 650 debido a que los materiales pueden ser reutilizados y el valor estimado del sistema está dado en la Tabla 17. Para realizar el cálculo se toma un periodo de 5 años y se reemplaza en la expresión anterior.

$$d_k = \frac{1186.61 - 650}{5}$$

$$d_k = \text{USD } 107.32$$

4.2.1.4 Inflación en el valor del sistema

La inflación es resultado de un fenómeno económico en la subida de precios de servicio y productos en el aspecto económico del país, para lo cual según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) [80] muestra los siguientes datos de inflación en el país en los últimos años hasta la actualidad y a partir del presente año se realiza proyecciones de inflación hasta llegar a los 5 años futuros una vez instalado el sistema termosifón.

Tabla 23 Inflación en Ecuador

Inflación en el ecuador	
Año	Tasa de inflación (%)
2014	3.67
2015	3.38
2016	1.12
2017	2.00
2018	3.35
2019	3.30
2020	3.35
2021	3.32
2022	3.34

Una vez que se obtuvo la inflación con proyección hasta el 2022 se puede obtener datos de los valores de inversión del sistema proyectados a 5 años.

Tabla 24 Costo de sistema termosifón proyectado a inflación dentro de 5 años

Costo del sistema termosifón en los próximos 5 años				
Año	Costo total termosifón	Costo mantenimiento	Costo depreciación	Costo Total (USD)
2018	1210.41	155.03	110.92	1786.40
2019	1209.83	154.95	110.86	1785.54
2020	1210.41	155.03	110.92	1786.40
2021	1211.00	155.10	110.97	1787.27
2022	1211.59	155.18	111.02	1788.13

4.2.1.5 Ingresos

Para poder determinar los ingresos se debe considerar el ahorro en energía y gas de uso doméstico GLP, según Empresa Eléctrica Quito [24] una familia en Quito gasta en promedio USD 4 para el calentamiento de agua sanitaria.

Para lo que en la siguiente tabla se muestra los ingresos anuales por el ahorro de energía para el calentamiento de agua sanitaria.

Tabla 25 Ingresos por ahorro de energía

Ingresos por ahorro de energía		
Año	Inflación (%)	Valor Futuro (USD)
2018	3.35	49.61
2019	3.30	49.58
2020	3.35	49.63
2021	3.32	49.63
2022	3.34	49.66

Con la implementación del sistema de calentamiento de agua se suprime el uso de combustibles como el GLP para el calentamiento de agua sanitaria, motivo por el cual en la Tabla 26 se muestra el valor de ingreso por consumo de GLP, según el Banco Central del Ecuador [81] el valor de comercialización es USD 12.8 sin subsidio. Debido a la información del Ministerio de industrias el subsidio del GLP se mantendrá hasta el presente año [82]. Motivo por el cual se asume el precio de USD 12.8 para los ingresos económicos.

El sistema de calentamiento de agua suple a un calefón marca Yang Tw-983 que consume $1.35 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ de GLP.

Tabla 26 Ingresos por ahorro de compra GLP

Ingresos por ahorro en compra de GLP		
Año	Inflación (%)	Valor futuro (USD)
2018	3.35	397.08
2019	3.30	396.88
2020	3.35	397.08
2021	3.32	397.27
2022	3.34	397.46

4.2.1.6 Flujo neto de caja

Para entender el flujo de caja neto se debe entender que es la diferencia entre todos los ingresos y costos durante el periodo de vida útil del sistema Ministerio de Finanzas [83]. Para determinar el flujo neto de caja se debe entender que los gastos únicamente son costos de mantenimiento y costos de operación del sistema.

Tabla 27 Flujo neto de caja

Año	Flujo neto de caja		
	Ingresos totales (USD)	Costos (USD)	Flujo neto de caja (USD)
2018	446.68	166.72	279.96
2019	446.47	166.64	279.82
2020	446.71	166.72	279.98
2021	446.90	166.80	280.09
2022	44712	166.89	280.23

4.2.2 Valor Actual Neto (VAN)

Según Domínguez [84], son los valores esperados en un futuro una vez realizada una inversión. Esta metodología consiste en restar el valor actual del sistema.

Para calcular el VAN se realiza mediante la siguiente expresión:

$$VAN = \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n} - I \quad (40)$$

Donde:

Q_n : Flujo neto de caja [USD].

I : Valor de desembolso inicial de inversión [USD].

n : Número de períodos considerados [años].

r : Tasa de renta fija.

Para realizar el correcto cálculo, la tasa de renta fija es 0 debido a que en el Ecuador los bienes y servicio no pagan tasa de renta fija.

Para realizar la interpretación de resultados del VAN se debe considerar las siguientes consideraciones:

- $VAN > 0$ Producirá ganancias, el proyecto debe aceptarse.
- $VAN < 0$ Producirá pérdidas, el proyecto debe rechazarse.
- $VAN = 0$ No genera ganancias ni pérdidas, de debe analizar otros criterios para para decidir la aceptación.

Tabla 28 Cálculo del VAN

Cálculo VAN	
Año	Flujo neto de caja (USD)
2018	279.96
2019	279.82
2020	279.98
2021	280.09
2022	280.23
VAN	228.91

En la Ecuación 42 se obtiene que el VAN de USD 228.91, razón por la cual el sistema producirá ganancias y el proyecto se debe aceptar.

4.2.3 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es la tasa de interés con mayor valor que podría alcanzar el inversionista para gastar dinero sin tener pérdidas [85].

Para el cálculo se utiliza la siguiente expresión:

$$VAN = \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1 + TIR)^n} - I \quad (41)$$

$$0 = \left(\frac{279.96}{(1 + TIR)^1} + \frac{279.82}{(1 + TIR)^2} + \frac{279.98}{(1 + TIR)^3} + \frac{280.09}{(1 + TIR)^4} + \frac{280.23}{(1 + TIR)^5} \right) - 117818$$

$$TIR = 6 \%$$

Una vez desarrollada la ecuación da como resultado un TIR del 6% este resultado dice que la tasa interna de retorno es mayor a las tasa de renta fija por lo que el sistema es aceptable.

4.2.4 Período de recuperación de la inversión

Para Chain *et al* [85], el período de recuperación de la inversión es el número de periodos reflejado en años calendario necesarios para recuperar la inversión inicial.

El plazo de recuperación de la inversión se calcula con la acumulación sucesiva de los flujos netos de caja hasta llegar a que el flujo de caja acumulado que sea al menos igual que la inversión inicial [84].

Tabla 29. Flujo de caja acumulado

Año	Flujo de caja acumulado	
	Flujo de caja neto (USD)	Flujo de caja acumulado (USD)
2018	279.96	(891.22)
2019	279.82	(611.40)
2020	279.98	(331.41)
2021	280.09	(51.32)
2022	280.23	228.91

Una vez calculados los flujos de cajas acumulados se utiliza la siguiente expresión:

$$PRI = A + \frac{B}{BN} \quad (42)$$

Donde:

A : Año último de flujo de caja acumulado negativo [años].

B : Valor absoluto del último año de flujo de caja acumulado negativo [USD].

BN : Valor del siguiente año de flujo de caja acumulado [USD].

$$PRI = 4 + \frac{|-51.32|}{228.91}$$

$$PRI = 4 \text{ años } 2 \text{ meses}$$

4.2.5 Relación Costo-Beneficio

La relación costos beneficios es un criterio que se aplica para el final de un proyecto, para lo cual se usa las mismas fórmulas para el cálculo del VAN y se las aplica para ingresos y costos [85].

Se usa la siguiente expresión:

$$RBC = \frac{\sum_{n=1}^N \frac{Y_n}{(1+r)^n}}{\sum_{n=1}^N \frac{E_n}{(1+r)^n} + I_0} \quad (43)$$

Donde:

Y_n : Ingresos [USD].

E_n : Egresos [USD].

En la siguiente tabla se muestra valores de flujos tanto para ingresos como para costos.

Tabla 30. Flujos de caja ingresos y costos

Año	Flujos de cajas	
	Ingresos (USD)	Costos (USD)
2018	446.68	166.72
2019	446.47	166.64
2020	446.71	166.72
2021	446.90	166.80
2022	447.12	166.89
TOTAL	2333.87	2004.96

Una vez obtenidos los datos de ingresos y costos se aplica la Ecuación 44.

$$RBC = \frac{2333.87}{2004.96}$$

$$RBC = 1.16$$

Para la interpretación de la relación costo-beneficio se debe observar que es mayor a 1, por lo que por cada dólar que se invierte en el proyecto se ganará USD 0.16

4.3 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

- El proyecto es rentable debido a que el resultado de la relación costo-beneficio es mayor que 1 por lo cual generará ganancias futuras.
- El proyecto es viable y rentable debido a que en 4 años y 2 meses se recuperará la inversión y producirá ganancias, también se está contribuyendo al medio ambiente debido a que no se utiliza recurso como energía o combustible.
- Una vez finalizado los análisis de costos se puede concluir que el sistema genera más ingresos que gasto debido que al necesitar solo agua potable para funcionar se suprime gastos de energía y GLP.

CONCLUSIONES

- Se realizaron investigaciones previas para poder determinar los diversos tipos de calentadores solares que existen nivel mundial y sobre su estado actual, los trabajos encontrados en la literatura fueron guías importantes para poder desarrollar el trabajo de investigación.
- Se determinaron parámetros solares los cuales influyen directamente en la radiación solar en el Ecuador que es de $3420 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$, los cálculos que se realizaron de caudal que necesita una persona para el consumo de agua caliente sanitaria es de $0.301 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ mediante este parámetro se puede calcular la demanda de ACS que es $601 \cdot \text{día}^{-1}$
- Una vez instalado el sistema de calentamiento de agua térmico se determinó que la máxima temperatura a la que llega el agua dentro del tanque acumulador que es 91°C el día 30 de junio y manteniéndose por lapsos prolongados de tiempo, en el tanque acumulador se alcanza una temperatura promedio de 78°C , alcanzando temperaturas de 63°C en primer punto de consumo y 47°C en el último punto de consumo para lo cual se evita la legionelosis y se produce agua a temperatura de confort para el uso humano.
- El sistema de termosifón es una alternativa válida para implementar en los domicilios, esto se pudo determinar mediante un análisis de costos los cuales dieron como resultado que en aproximadamente 4 años y 2 meses la inversión inicial se recupera y se empieza a obtener ganancias.
- Mediante análisis cuantitativos de las 3 principales formas de calentamiento de agua sanitaria como electricidad, combustibles y energía solar, se pudo determinar que la energía solar con un 87% fue la alternativa con mayor puntuación del análisis, debido a que por bajo costo en mantenimiento y máximo aprovechamiento de recursos naturales calienta agua.

RECOMENDACIONES

- Se deben realizar investigaciones futuras acerca el uso de energía fotovoltaica para poder mantener un sistema autónomo de producción de electricidad para apoyo de sistemas térmicos es decir resistencias eléctricas para calentamiento de agua sanitaria.
- En próximas investigaciones de sistemas solares térmicos tipo termosifón se recomienda aplicar aislamientos a las tuberías en la parte exterior y parte interior debido a que las condiciones ambientales y de instalación pueden mermar la eficiencia del sistema presentando considerables variaciones de temperatura entre los tanques de acumulación y puntos de consumo.
- Un factor importante es contar con espacios determinados, para poder implementar sistemas de calentamiento de agua, con fácil acceso para poder realizar mantenimientos, una vez con espacios determinados no existirán perdidas por sombras por lo cual la eficiencia del colector será mayor.
- Se recomienda realizar pruebas del sistema en ambientes con climas diferentes para poder determinar capacidad de producción de agua caliente, y poder determinar que ambientes son más propicios para su instalación.
- Para reducir costos de producción e instalación se recomienda buscar alternativas de materiales y proveedores de sistemas solares térmicos que ofrezcan costos bajos, con lo cual se reducirán gastos para buscar mayor rentabilidad del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. N. d. P. y. Desarrollo, «Plan Nacional del Buen Vivir,» 2013-2017, pp. 81-83.
- [2] Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, «SOLAR_DOSSIER.,» 27 Noviembre 2014. [En línea]. Available: http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/12/SOLAR_DOSSIER.pdfv.
- [3] Calelec, «Beneficios del agua caliente,» 24 Junio 2017. [En línea]. Available: <https://www.calelec.com/blog/2017/01/24/beneficios-del-agua-caliente/>.
- [4] Sitemap, «Los problemas de salud,» s.f 2012. [En línea]. Available: <http://www.lasaludes.com/beneficios-terapeuticos-de-tener-duchas-de-agua-caliente-en-el-hogar/>.
- [5] D. Gómez Barroso, F. Nogareda , R. Cano, M. F. Pina, J. L. Del Barrio y F. Simon , «Patrón espacial de la legionelosis en Espana, 2003-2007,» *Gaceta Sanitaria* , vol. 25, pp. 290-295, 2011.
- [6] D. Bouhour, C. Chidiac y D. Peyramond, «Legionelosis,» *Elsevier*, pp. 1-2, 2002.
- [7] H. Pañella, N. Calzada, V. Beneyto, N. Valero , J. Garcia y P. Rodríguez, «Legionellosis in a site with low risk of proliferation,» *Gaceta Sanitaria* , vol. 24, pp. 498-500, 2010.
- [8] «Eco Inventos,» 15 Junio 2011. [En línea]. Available: <http://ecoinventos.com/calentador-solar/>.
- [9] M. Pitarch, E. Navarro , J. González y J. M. Corberán, «Evaluation of different heat pump systems for sanitary hot water production using natural refrigerants,» *Applied Energy*, pp. 911-919, 2017.
- [10] J. Fine, J. Friedman y S. Dworkin, «Detailed modeling of a novel photovoltaic thermal cascade heat pump,» *Renewable Energy*, vol. 101, pp. 500-513, 2017.
- [11] H. Chen, L. Zhang, P. Jie, Y. Xiong, P. Xu y H. Zhai, «Performance study of heat-pipe solar photovoltaic/thermal heat pump,» *Applied Energy*, pp. 960-980, 2017.
- [12] M. Qu, J. Chen , L. Nie , F. Li , Q. Yu y T. Wang, «Experimental study on the operating characteristics of a novel photovoltaic/thermal integrated dual-source heat pump water heating system,» *Applied Thermal Engineering*, pp. 819-826, 2015.
- [13] L. E. Juanicó, N. Di Lalla y A. D. González, «Full thermal-hydraulic and solar modeling to study low-cost solar collectors,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 73, pp. 187-195, 2017.
- [14] C. Curry, J. A. Cherni y M. Mapako, «The potential and reality of the solar water heater programme in South African townships: Lessons from the City of Tshwane,» *Energy Policy*, vol. 106, pp. 75-84, 2017.
- [15] J. Varghese, Samsher y K. Manjunath, «A parametric study of a concentrating integral storage solar water heater for domestic uses,» *Applied Thermal Engineering*, vol. 111, pp. 734-744, 2017.
- [16] El Telégrafo, «El Telégrafo,» 08 Julio 2016. [En línea]. Available:

<http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/punto-de-vista/1/energia-solar-fotovoltaica-en-ecuador>.

- [17] D. A. Arenas Sánchez y H. S. Zapata Castaño, «Energía Solar y sus aplicaciones,» Pereira , 2011.
- [18] Erenovable, «Erenovable,» 08 Mayo 2015. [En línea]. Available: <http://erenovable.com/energia-solar-pasiva/>.
- [19] A. Robalino, A. Mena y J. García, «System dynamics modeling for renewable energy and CO2 emissions: A case study of Ecuador,» *Energy for Sustainable Development*, pp. 11-20, 2014.
- [20] D. Rodríguez y D. Arroyo , «Energía Solar Fotovoltaica en Ecuador,» *El Telégrafo*, pp. 6-7, 2016.
- [21] M. Fernandez, «La Energía del Cambio,» 2016.
- [22] J. Pésantez, «Reducción de costos en el calentamiento de agua en Ecuador,» Península de Santa Elena.
- [23] E. E. Quito, «Pliego Tarifario Vigente,» pp. 1-2, 2014.
- [24] MEER, «Plan Estratégico Institucional,» *MEER*, p. 83, 2014.
- [25] Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, «Balance Energético Nacional,» p. 14, 2014.
- [26] M. C. d. S. Estrategico, «Ministerio Coordinador de Sector Estrategico,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/01/Resumen-Balance-Energe%CC%81tico-20151.pdf>.
- [27] L. Long, H. Ye y M. Liu, «A new insight into opaque envelopes in a passive solar house: Properties,» *Applied Energy*, pp. 685-699, 2016.
- [28] Calefacción Solar, «Calefacción SOLAR,» 2015. [En línea]. Available: <http://calefaccion-solar.com/tipos-de-energia-solar.html>.
- [29] E. Solar, «Solar Energía. net,» 11 Diciembre 2015. [En línea]. Available: <http://solar-energia.net/energia-solar-activa>.
- [30] Coordinación de Energías Renovables, *Energías Renovables*, 2008.
- [31] C. Solar, Porconsi Dynamiza S.L., 2016. [En línea]. Available: http://www.cenitsolar.com/fotovoltaica_esquema.php.
- [32] «Energía solar térmica,» s.f. [En línea]. Available: <http://www.energiasolartermica.biz/>.
- [33] E. Ambiental, 2015. [En línea]. Available: <http://www.educacionambiental.com.co/aprovechamiento-solar/>.
- [34] «Energía Solar,» de *Energía Solar*, 2014, pp. 70-76.
- [35] P. Si, Y. Lv, X. Liu, X. Rong y Y. Feng, «An Optimization Model Applied to Active Solar

- Energy,» *ScienceDirect*, pp. 443-449, 2016.
- [36] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, «Sistemas Solares Térmicos II,» Santiago, 2011.
 - [37] A. calentadores, «Calentadores Altamira,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.calentadoresaltamira.com.ve/caracas/preguntas.html>.
 - [38] S. d. Ingeniería. [En línea].
 - [39] ASME, «ASME Boiler and Pressure Vessel Code,» de *Rules for construction of Heating Boilers*, 2015, p. 55.
 - [40] Wix. [En línea]. Available: <http://calentadoresdeagua1.wixsite.com/calentadorchallenger/single-post/2015/02/26/CALENTADOR-DE-AGUA-COMO-FUSIONAN>.
 - [41] Certicalia, «Calentadores de agua electricos,» s.f. [En línea]. Available: <https://www.certicalia.com/blog/calentadores-de-agua-electricos-como-funcionan>.
 - [42] M. Saravia, «De compras,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.preciosisimo.com/hogar/termos-electricos-calentadores-gas-termosolares-acumuladores>.
 - [43] Y. Shimoda, T. Okamura, . Y. Yamaguchi, Y. Yamaguchi, A. Taniguchi y T. Morikawa, «City-level energy and CO2 reduction effect by introducing new residential,» *Energy*, pp. 4880-4891, 2016.
 - [44] E. Bellos , C. Tzivanidis y K. A. Antonopoulos, «A detailed working fluid investigation for solar parabolic trough collectors,» *Applied Thermal Engineering*, pp. 374-386, 2017.
 - [45] C. Cadena, «Colectores solares para calentamiento de agua,» INENCO, [En línea]. Available: http://www.inti.gob.ar/e-renova/pdf/colectores_solares_aguacaliente.pdf.
 - [46] «Energía Solar térmica,» IDAE, 01 Febrero 2012. [En línea]. Available: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Calor_y_Frio_Renovables_Solar_01022012_global_2fa21552.pdf.
 - [47] M. d. I. T. y. Comercio, «Energía Solar Térmica,» nº 1, p. 53, 2012.
 - [48] A. Papadimitratos, S. Sobhansarbandi, V. Pozdin, A. Zakhidov y F. Hassanipour, «Evacuated tube solar collectors integrated with phase change materials,» *ScienceDirect*, pp. 10-19, 2016.
 - [49] L. Ayompe, A. Duffy, M. M. Kever, M. Conlon y S. McCormack, «Comparative field performance study of flat plate and heat pipe evacuated tube collectors (ETCs) for domestic water heating systems in a temperate climate,» *Energy*, vol. 36, pp. 3370-3378, 2011.
 - [50] B. Zou, J. Dong, Y. Yao y Y. Jiang, «An experimental investigation on a small-sized parabolic trough solar collector for water heating in cold areas,» *Applied Energy*, vol. 163, pp. 396-407, 2016.
 - [51] B. Huang y C. Hsieh, «A SIMULATION METHOD FOR SOLAR THERMOSYPHON COLLECTOR,» *Solar Energy*, vol. 35, pp. 31-43, 1985.

- [52] S. A. Kalogirou, *Solar Energy Engineering*, Amsterdam : Elsevier, 2014.
- [53] J. C. Martínez Escribano, P. Franco Noceto y R. A. Suárez, *Manual Técnico de Energía Solar Térmica*, Universidad de la República de Uruguay, 2013.
- [54] S. Kalogirou, «Thermal performance, economic and environmental life cycle analysis of thermosiphon solar water heaters,» *Solar Energy*, vol. 83, pp. 39-48, 2009.
- [55] Asociación Técnica Española de Climatización ; Instituto de Diversificación y Ahorro Energetico;, *Guía técnica de agua caliente sanitaria central*, Madrid, 2016.
- [56] C. Placco, L. Saravia y C. Cadena, *Colectores solares para agua caliente*, INENCO, 2015.
- [57] G. Boero y G. Blengio, *Manual de energía solar térmica e instalaciones asociadas*, Imprenta Grafinel, 2009.
- [58] A. Mao, J. Luo y Y. Li, «Numerical simulation of thermal behaviors of a clothed human body with evaluation of indoor solar radiation,» *Applied Thermal Engineering*, vol. 117, pp. 629-643, 2017.
- [59] S. Guevara Vásquez, *Teoría para el diseño de calentadores solares de agua*, Lima, 2003.
- [60] J. Duffie y W. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, Canada : John Wiley , 2013.
- [61] I. ATMACA y S. KOCAN, «THEORETICAL ENERGY AND EXERGY ANALYSES OF SOLAR ASSISTED HEAT PUMP SPACE HEATING SYSTEM,» *Thermal Science*, vol. 18, pp. 417-427, 2014.
- [62] Consejo Nacional de Electricidad, *Atlas Solar del Ecuador*, 2008.
- [63] «Vercalendario. info,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.vercalendario.info/es/sol/ecuador-ano-calendario-2016.html>.
- [64] IFIS, «Aviación civil,» 19 Enero 2107. [En línea]. Available: <http://www.ais.aviacioncivil.gob.ec/ifis3/aip/GEN%202.7>.
- [65] *Documento Básico HS*.
- [66] F. J. Pancorbo, «Monografías,» [En línea]. Available: <http://www.monografias.com/trabajos88/simultaneidad-consumos-agua-instalaciones/simultaneidad-consumos-agua-instalaciones.shtml>.
- [67] Ministerio De Fomento, «Documento Básico HE,» de *Ahorro de Energía*, Madrid.
- [68] I. O. Martínez Maldonado, «“Diseño e instalación de un sistema de calentamiento solar de agua, para el sector rural”,» 2011. [En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1516>.
- [69] IDAE, «Instalaciones de Energía Solar Térmica,» Enero 2009. [En línea]. Available: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_ST_Pliego_de_Condiciones_Tecnicas_Baja_Temperatura_09_a3c5aa42.pdf.
- [70] D. FUENTES CANTERO, «Instalación de colectores solares para suministro de ACS en

- Valencia,» 2009. [En línea]. Available: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7794/PFC_David_Fuentes_Cantero.pdf?sequence=1.
- [71] E. Empres Pública Municipal de Agua Potable y Saneami, «EPMAPS,» 2015. [En línea]. Available: http://www.aguaquito.gob.ec/?page_id=1392.
- [72] Norma Ecuatoriana de Construcción, de *Norma hidrodanitaria HNE*, 2011, pp. 16-16.
- [73] X. Kong, Y. Li, L. Lin y Y. Yang, «Modeling evaluation of a direct-expansion solar-assisted heat pump water heater using R410A,» *refrigeration*, 2017.
- [74] V. M. Salcedo Cobo, «Influencia del estudio de la tecnología de vacío en tubos sobre la eficiencia para el calentamiento de agua usando la energía solar.,» Ambato, 2011.
- [75] C. Paredes Velasco, «Diseño de captador solar cilíndrico parabólico para aplicaciones rurales en Paraguay,» 2012. [En línea]. Available: http://oa.upm.es/14011/1/PFC_CARMEN_PAREDES_VELASCO.pdf.
- [76] J. C. BURBANO J, Á. H. RESTREPO y O. J. SABOGAL F, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA OPERADO POR TERMOSIFÓN,» *Scientia et technica*, pp. 86-90, 2006.
- [77] E. M. d. A. P. y. S. Quito, «Empresa Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento Quito,» 2015. [En línea]. Available: https://www.aguaquito.gob.ec/sites/default/files/documentos/pliego_tarifario_epmaps.pdf.
- [78] W. G. Sullivan, E. M. Wicks y J. T. Luxhoj, Ingeniería Económica de DeGarmo, México D.F: PEARSON EDUCACIÓN, 2004.
- [79] INEC, «Tasa de Inflacion Ecuador,» [En línea]. Available: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec>.
- [80] B. C. D. Ecuador, «Banco Central Del Ecuador,» 2016. [En línea]. Available: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/cspe2016110.pdf>.
- [81] E. diario, «El diario,» [En línea]. Available: <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/321353-subsidio-al-gas-sera-hasta-el-2017/>.
- [82] M. d. Finanzas, «Ministerio de Finanzas,» [En línea]. Available: http://www.finanzas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/02/2.Manual_de_Usuario_para_el_Registro_de_Ingreso_de_Bienes_por_Acta.pdf.
- [83] J. Domínguez Jiménez , 2011. [En línea]. Available: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:67156/componente67154.pdf.
- [84] N. S. Chain y R. S. Chain, Preparacion y Evaluación de Proyectos, Mexico D.F.: McGraw-Hill Latinoamerica, 1991.
- [85] Y. A. CENGEL, TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA, Mexico: McGraw Hill, 2007.
- [86] F. P. INCROPERA y D. P. DeWITT, Fundamentos de transferencia de calor, Mexico: PEARSON, 1999.

- [87] Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, «SOLAR_DOSSIER.,» 27 Noviembre 2014. [En línea]. Available: http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/12/SOLAR_DOSSIER.pdfv.
- [88] J. R. Peeters, D. Altamirano, W. Dewulf y J. R. Duflou, «Forecasting the composition of emerging waste streams with,» *Resources, Conservation and Recycling*, pp. 14-26, 2017.
- [89] C. Ltda, «Code Solar,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.codesolar.org/Energia-Solar/Energias-Renovables/Agua-Caliente-Duchas-Lavabos-Gratis.html>.
- [90] «Tipos de paneles fotovoltaicos,» Energías Renovables, 25 Noviembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/>.
- [91] Esco, «Esco,» [En línea]. Available: http://www.esco-tel.com/paneles_solares_monocristalinos_vs_policristalinos.html.
- [92] Luxury, «Luxury Electronic,» 2016. [En línea]. Available: <http://luxury-electronic.co/producto/panel-solar-mono-cristalino-ultra-eficiente-60w-12v-luxury/>.
- [93] «Paneles solares monocristalinos y policristalinos,» s,f. [En línea]. Available: http://www.esco-tel.com/paneles_solares_monocristalinos_vs_policristalinos.html.
- [94] R. P. Moreno, Konradlew, 2016. [En línea]. Available: <http://energias-renovables-y-limpias.blogspot.com/2013/04/que-panel-comprar-monocristalino-o-policristalino.html>.
- [95] Solar, «Solar,» 2016. [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/icestceldas/home/celdas-solares-amor>.
- [96] T. Científicos, «Textos Científico.com,» [En línea]. Available: <http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>.
- [97] J. Holman, Transferencia de Calor, España: MC Graw Hill, 1998.
- [98] F. P. Incropera y D. P. DeWitt, Fundamentos de transferencia de calor, Mexico: Pearson, 1999.

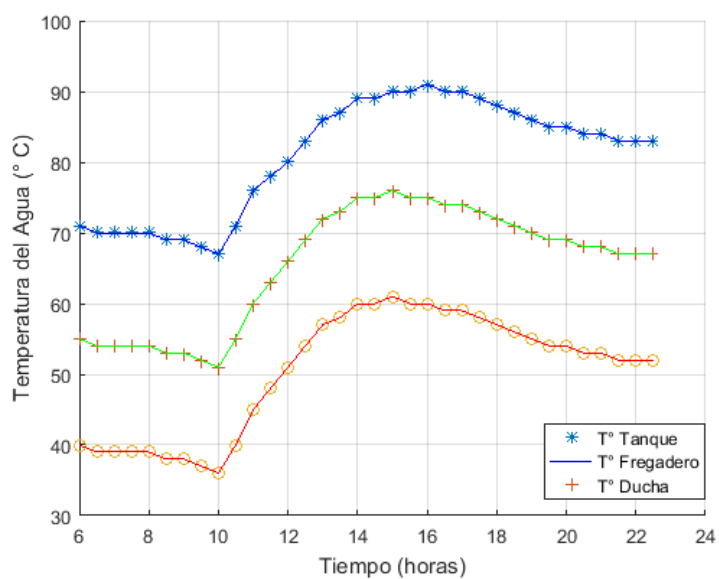
ANEXOS

Anexo A Comportamiento individual de la temperatura del agua para ACS.

- Tabla A.1 Temperatura vs Tiempo

07 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	71	55	40
7 am	70	54	39
8 am	70	54	39
9 am	69	53	38
10 am	67	51	36
11 am	76	60	45
12 am	80	66	51
13 pm	86	72	57
14 pm	89	75	60
15 pm	90	76	61
16 pm	91	75	60
17 pm	90	74	59
18 pm	88	72	57
19 pm	86	70	55
20 pm	85	69	54
21 pm	84	68	53
22 pm	83	67	52

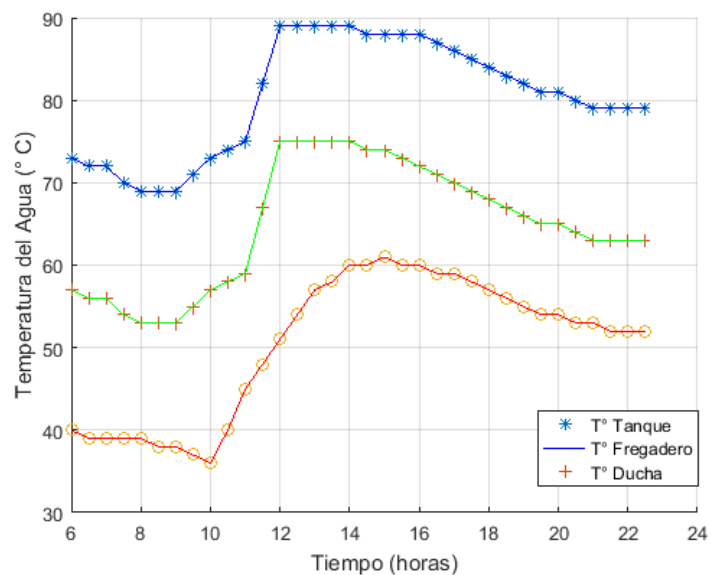
- Gráfica A.1 Temperatura vs Tiempo (07 junio 2017)



- Tabla A.2 Temperatura vs Tiempo

08 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	73	57	40
7 am	72	56	39
8 am	69	53	39
9 am	69	53	38
10 am	73	57	36
11 am	75	59	45
12 am	89	75	51
13 pm	89	75	57
14 pm	89	75	60
15 pm	88	74	61
16 pm	88	72	60
17 pm	86	70	59
18 pm	84	68	57
19 pm	82	66	55
20 pm	81	65	54
21 pm	79	63	53
22 pm	79	63	52

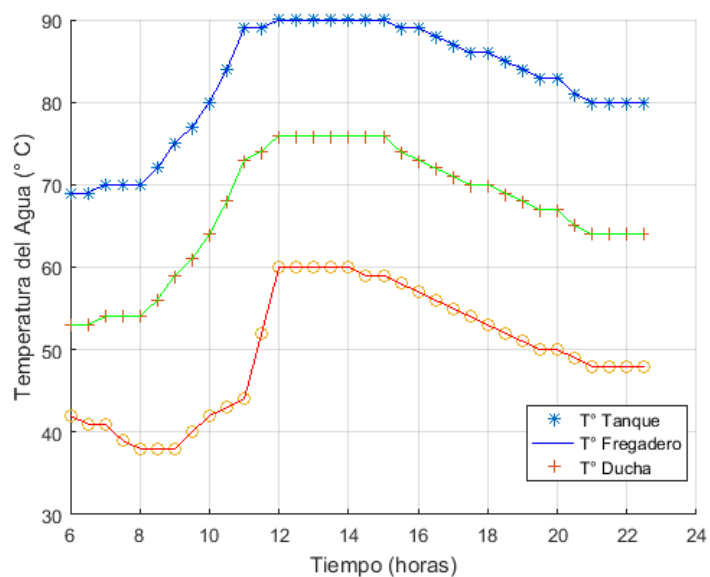
- Gráfica A.2 Temperatura vs Tiempo (08 junio 2017)



- Tabla A.3 Temperatura vs Tiempo

09 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	69	53	42
7 am	70	54	41
8 am	70	54	38
9 am	75	59	38
10 am	80	64	42
11 am	89	73	44
12 am	90	76	60
13 pm	90	76	60
14 pm	90	76	60
15 pm	90	76	59
16 pm	89	73	57
17 pm	87	71	55
18 pm	86	70	53
19 pm	84	68	51
20 pm	83	67	50
21 pm	80	64	48
22 pm	80	64	48

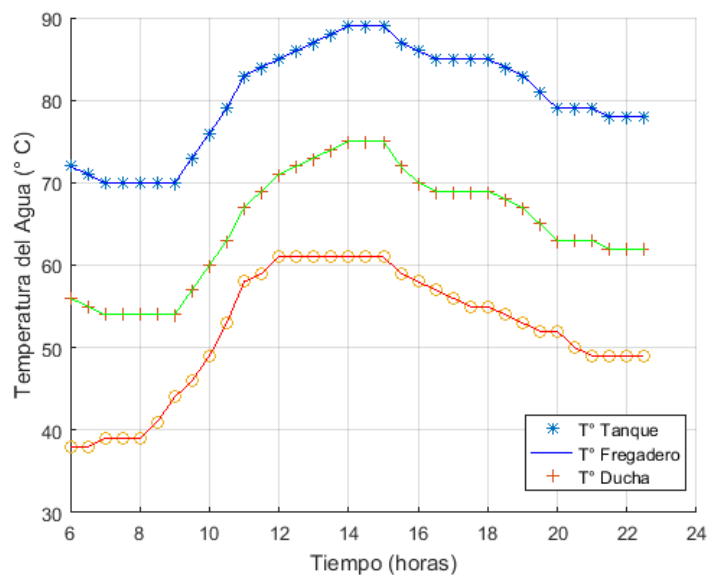
- Gráfica A.3 Temperatura vs Tiempo (09 junio 2017)



- Tabla A.4 Temperatura vs Tiempo

10 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	72	56	38
7 am	70	54	39
8 am	70	54	39
9 am	70	54	44
10 am	76	60	49
11 am	83	67	58
12 am	85	71	61
13 pm	87	73	61
14 pm	89	75	61
15 pm	89	75	61
16 pm	86	70	58
17 pm	85	69	56
18 pm	85	69	55
19 pm	83	67	53
20 pm	79	63	52
21 pm	79	63	49
22 pm	78	62	49

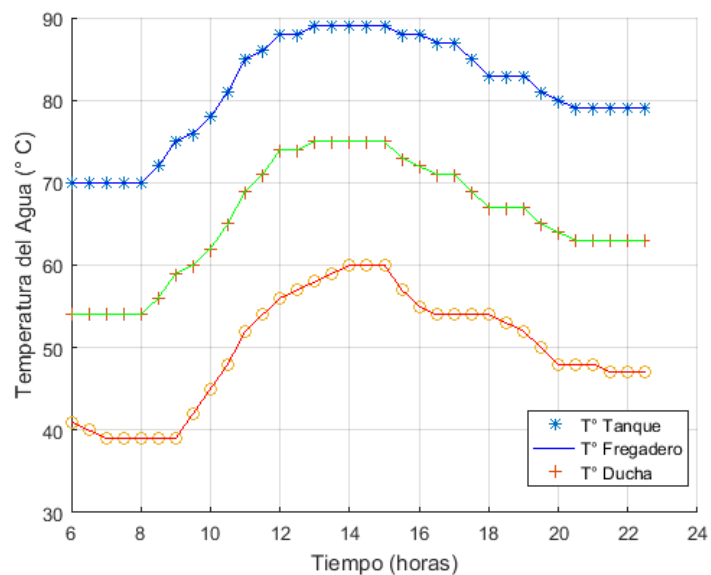
- Gráfica A.4 Temperatura vs Tiempo (10 junio 2017)



- Tabla A.5 Temperatura vs Tiempo

11 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	70	54	41
7 am	70	54	39
8 am	70	54	39
9 am	75	59	39
10 am	78	62	45
11 am	85	69	52
12 am	88	74	56
13 pm	89	75	58
14 pm	89	75	60
15 pm	89	75	60
16 pm	88	72	55
17 pm	87	71	54
18 pm	83	67	54
19 pm	83	67	52
20 pm	80	64	48
21 pm	79	63	48
22 pm	79	63	47

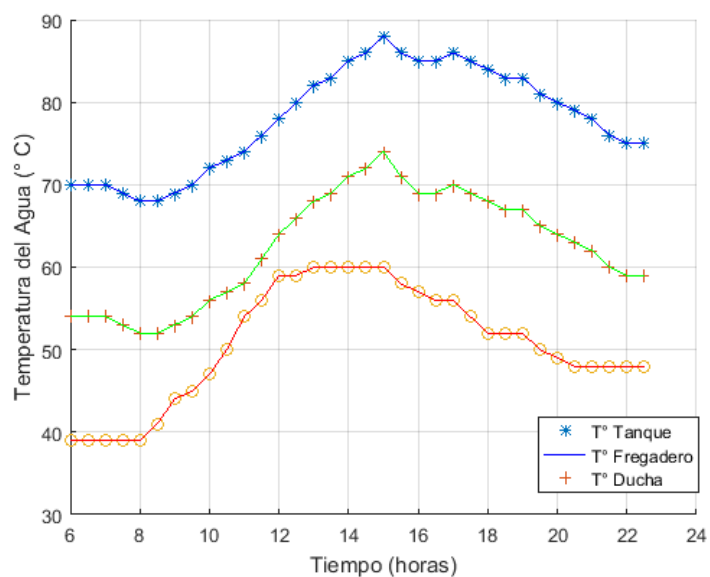
- Gráfica A.5 Temperatura vs Tiempo (11 junio 2017)



- Tabla A.6 Temperatura vs Tiempo

12 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	70	54	39
7 am	70	54	39
8 am	68	52	39
9 am	69	53	44
10 am	72	56	47
11 am	74	58	54
12 am	78	64	59
13 pm	82	68	60
14 pm	85	71	60
15 pm	88	74	60
16 pm	85	69	57
17 pm	86	70	56
18 pm	84	68	52
19 pm	83	67	52
20 pm	80	64	49
21 pm	78	62	48
22 pm	75	59	48

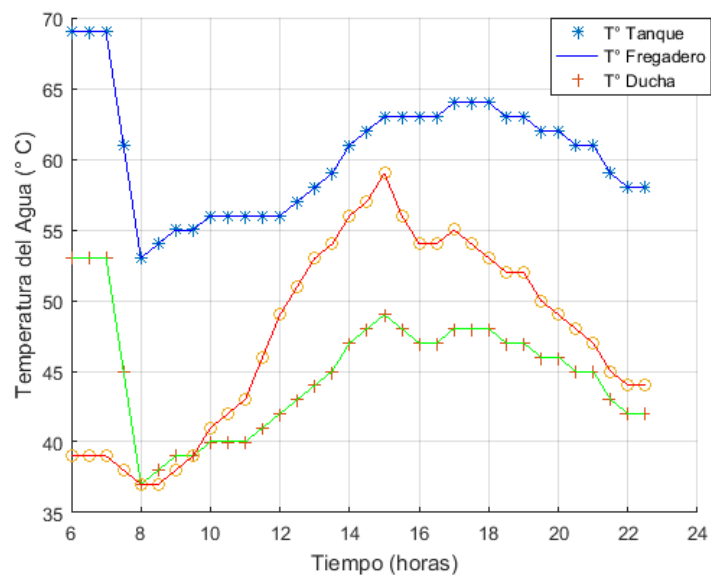
- Gráfica A.6 Temperatura vs Tiempo (12 junio 2017)



- Tabla A.7 Temperatura vs Tiempo

13 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	69	53	39
7 am	69	53	39
8 am	53	37	37
9 am	55	39	38
10 am	56	40	41
11 am	56	40	43
12 am	56	42	49
13 pm	58	44	53
14 pm	61	47	56
15 pm	63	49	59
16 pm	63	47	54
17 pm	64	48	55
18 pm	64	48	53
19 pm	63	47	52
20 pm	62	46	49
21 pm	61	45	47
22 pm	58	42	44

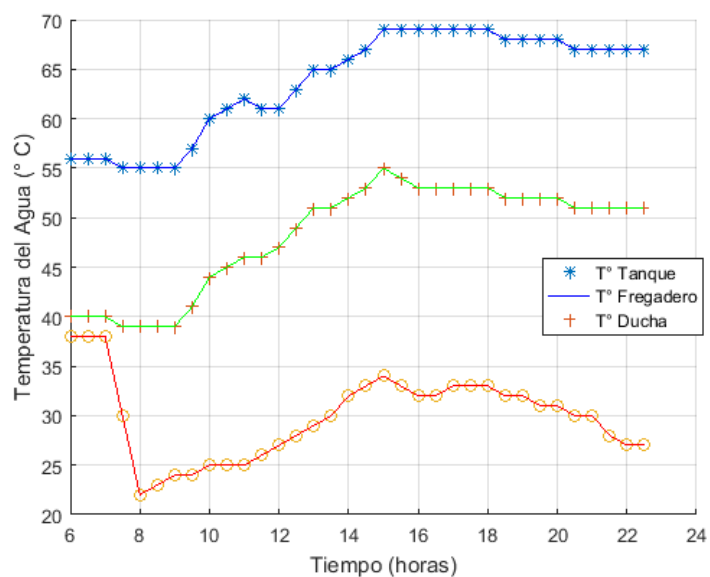
- Gráfica A.7 Temperatura vs Tiempo (13 junio 2017)



- Tabla A.8 Temperatura vs Tiempo

14 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	56	40	38
7 am	56	40	38
8 am	55	39	22
9 am	55	39	24
10 am	60	44	25
11 am	62	46	25
12 am	61	47	27
13 pm	65	51	29
14 pm	66	52	32
15 pm	69	55	34
16 pm	69	53	32
17 pm	69	53	33
18 pm	69	53	33
19 pm	68	52	32
20 pm	68	52	31
21 pm	67	51	30
22 pm	67	51	27

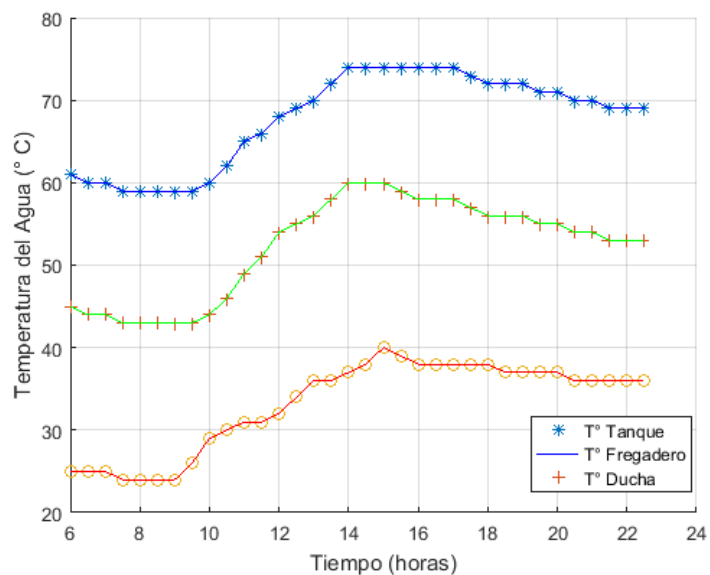
- Gráfica A.8 Temperatura vs Tiempo (14 junio 2017)



- Tabla A.9 Temperatura vs Tiempo

15 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	61	45	25
7 am	60	44	25
8 am	59	43	24
9 am	59	43	24
10 am	60	44	29
11 am	65	49	31
12 am	68	54	32
13 pm	70	56	36
14 pm	74	60	37
15 pm	74	60	40
16 pm	74	58	38
17 pm	74	58	38
18 pm	72	56	38
19 pm	72	56	37
20 pm	71	55	37
21 pm	70	54	36
22 pm	69	53	36

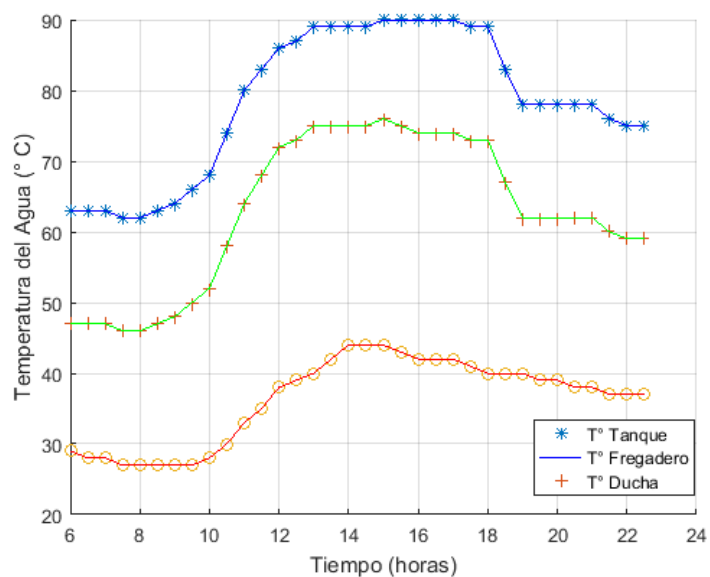
- Gráfica A.9 Temperatura vs Tiempo (15 junio 2017)



- Tabla A.10 Temperatura vs Tiempo

16 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	63	47	29
7 am	63	47	28
8 am	62	46	27
9 am	64	48	27
10 am	68	52	28
11 am	80	64	33
12 am	86	72	38
13 pm	89	75	40
14 pm	89	75	44
15 pm	90	76	44
16 pm	90	74	42
17 pm	90	74	42
18 pm	89	73	40
19 pm	78	62	40
20 pm	78	62	39
21 pm	78	62	38
22 pm	75	59	37

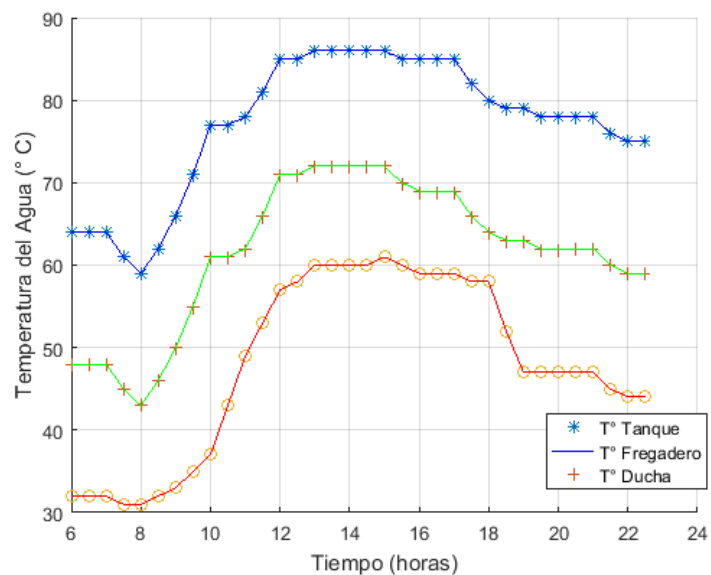
- Gráfica A.10 Temperatura vs Tiempo (16 junio 2017)



- Tabla A.11 Temperatura vs Tiempo

17 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	64	48	32
7 am	64	48	32
8 am	59	43	31
9 am	66	50	33
10 am	77	61	37
11 am	78	62	49
12 am	85	71	57
13 pm	86	72	60
14 pm	86	72	60
15 pm	86	72	61
16 pm	85	69	59
17 pm	85	69	59
18 pm	80	64	58
19 pm	79	63	47
20 pm	78	62	47
21 pm	78	62	47
22 pm	75	59	44

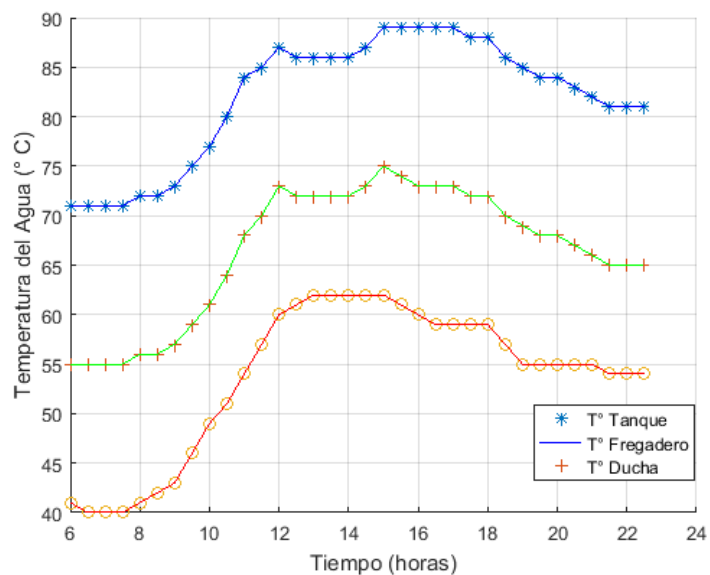
- Gráfica A.11 Temperatura vs Tiempo (17 junio 2017)



- Tabla A.12 Temperatura vs Tiempo

18 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	71	55	41
7 am	71	55	40
8 am	72	56	41
9 am	73	57	43
10 am	77	61	49
11 am	84	68	54
12 am	87	73	60
13 pm	86	72	62
14 pm	86	72	62
15 pm	89	75	62
16 pm	89	73	60
17 pm	89	73	59
18 pm	88	72	59
19 pm	85	69	55
20 pm	84	68	55
21 pm	82	66	55
22 pm	81	65	54

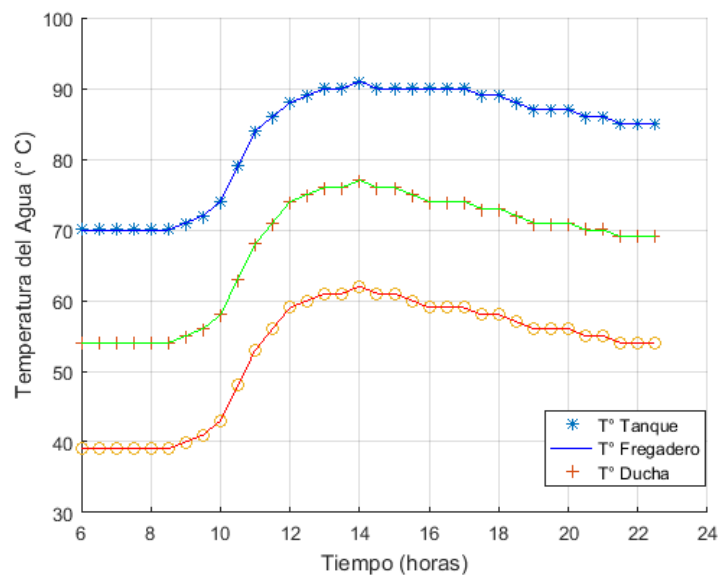
- Gráfica A.12 Temperatura vs Tiempo (18 junio 2017)



- Tabla A.13 Temperatura vs Tiempo

19 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	70	54	39
7 am	70	54	39
8 am	70	54	39
9 am	71	55	40
10 am	74	58	43
11 am	84	68	53
12 am	88	74	59
13 pm	90	76	61
14 pm	91	77	62
15 pm	90	76	61
16 pm	90	74	59
17 pm	90	74	59
18 pm	89	73	58
19 pm	87	71	56
20 pm	87	71	56
21 pm	86	70	55
22 pm	85	69	54

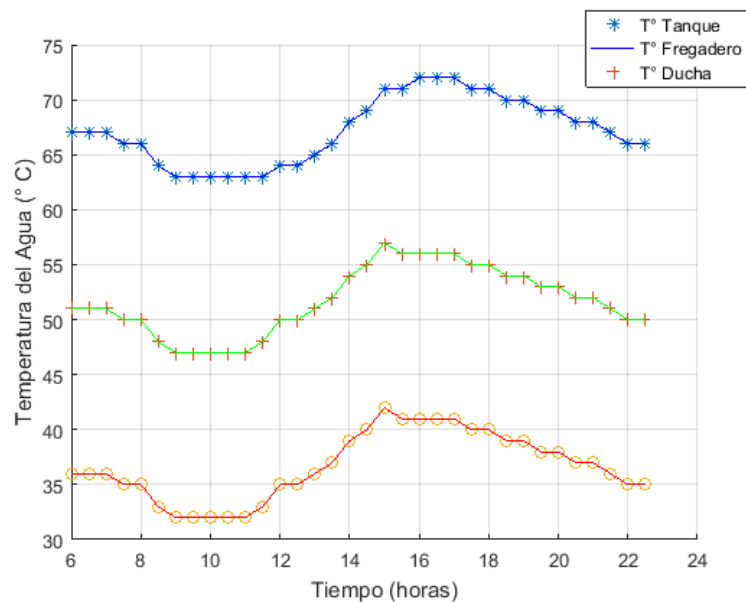
- Gráfica A.13 Temperatura vs Tiempo (19 junio 2017)



- Tabla A.14 Temperatura vs Tiempo

20 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	67	51	36
7 am	67	51	36
8 am	66	50	35
9 am	63	47	32
10 am	63	47	32
11 am	63	47	32
12 am	64	50	35
13 pm	65	51	36
14 pm	68	54	39
15 pm	71	57	42
16 pm	72	56	41
17 pm	72	56	41
18 pm	71	55	40
19 pm	70	54	39
20 pm	69	53	38
21 pm	68	52	37
22 pm	66	50	35

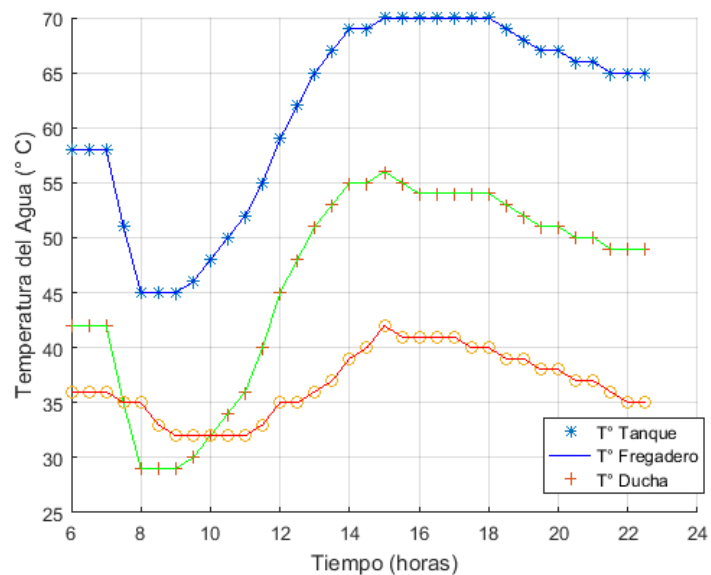
- Gráfica A.14 Temperatura vs Tiempo (20 junio 2017)



- Tabla A.15 Temperatura vs Tiempo

21 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	58	42	36
7 am	58	42	36
8 am	45	29	35
9 am	45	29	32
10 am	48	32	32
11 am	52	36	32
12 am	59	45	35
13 pm	65	51	36
14 pm	69	55	39
15 pm	70	56	42
16 pm	70	54	41
17 pm	70	54	41
18 pm	70	54	40
19 pm	68	52	39
20 pm	67	51	38
21 pm	66	50	37
22 pm	65	49	35

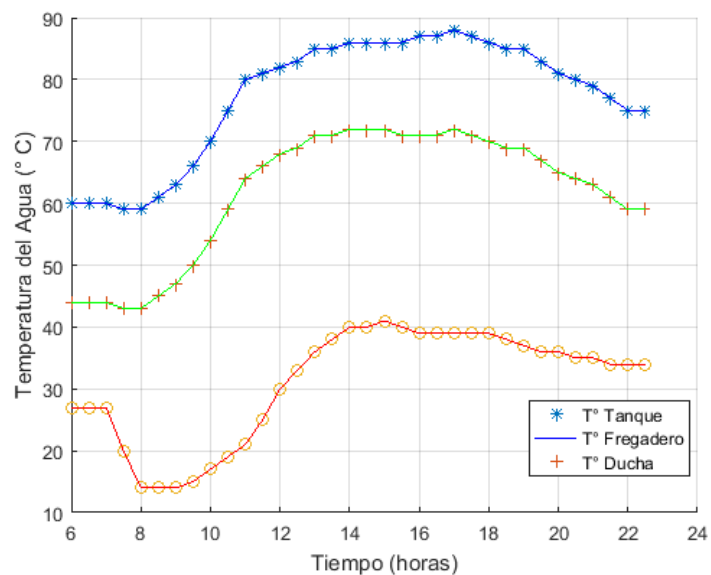
- Gráfica A.15 Temperatura vs Tiempo (21 junio 2017)



- Tabla A.16 Temperatura vs Tiempo

22 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	60	44	27
7 am	60	44	27
8 am	59	43	14
9 am	63	47	14
10 am	70	54	17
11 am	80	64	21
12 am	82	68	30
13 pm	85	71	36
14 pm	86	72	40
15 pm	86	72	41
16 pm	87	71	39
17 pm	88	72	39
18 pm	86	70	39
19 pm	85	69	37
20 pm	81	65	36
21 pm	79	63	35
22 pm	75	59	34

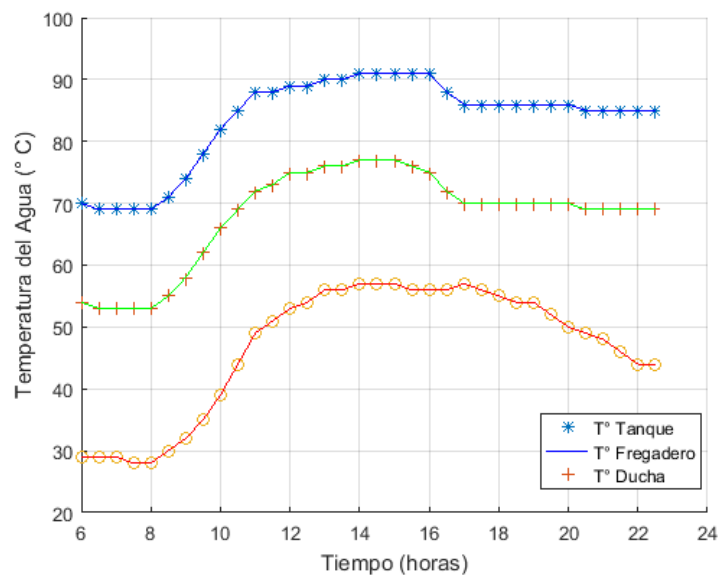
- Gráfica A.16 Temperatura vs Tiempo (22 junio 2017)



- Tabla A.17 Temperatura vs Tiempo

23 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	70	54	29
7 am	69	53	29
8 am	69	53	28
9 am	74	58	32
10 am	82	66	39
11 am	88	72	49
12 am	89	75	53
13 pm	90	76	56
14 pm	91	77	57
15 pm	91	77	57
16 pm	91	75	56
17 pm	86	70	57
18 pm	86	70	55
19 pm	86	70	54
20 pm	86	70	50
21 pm	85	69	48
22 pm	85	69	44

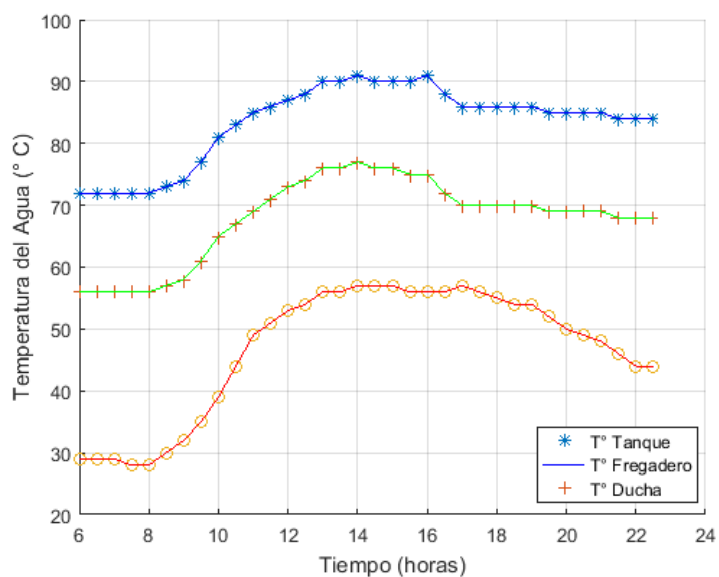
- Gráfica A.17 Temperatura vs Tiempo (23 junio 2017)



- Tabla A.18 Temperatura vs Tiempo

24 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	72	56	29
7 am	72	56	29
8 am	72	56	28
9 am	74	58	32
10 am	81	65	39
11 am	85	69	49
12 am	87	73	53
13 pm	90	76	56
14 pm	91	77	57
15 pm	90	76	57
16 pm	91	75	56
17 pm	86	70	57
18 pm	86	70	55
19 pm	86	70	54
20 pm	85	69	50
21 pm	85	69	48
22 pm	84	68	44

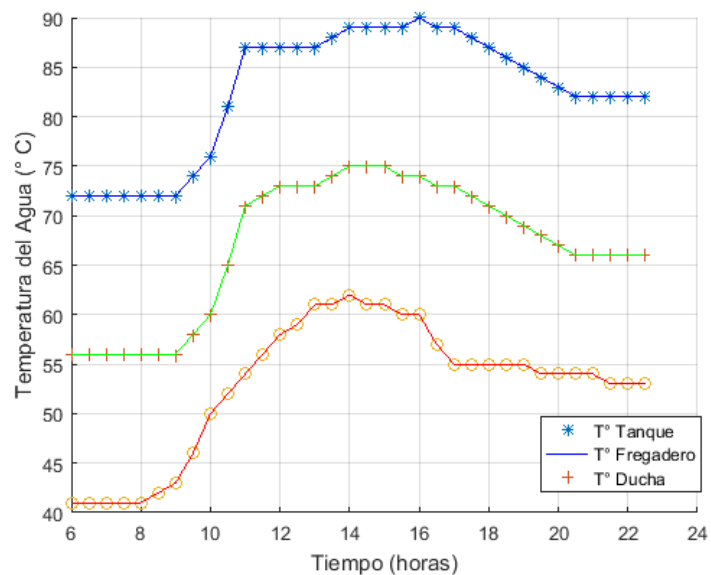
- Gráfica A.18 Temperatura vs Tiempo (24 junio 2017)



- Tabla A.19 Temperatura vs Tiempo

25 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	72	56	41
7 am	72	56	41
8 am	72	56	41
9 am	72	56	43
10 am	76	60	50
11 am	87	71	54
12 am	87	73	58
13 pm	87	73	61
14 pm	89	75	62
15 pm	89	75	61
16 pm	90	74	60
17 pm	89	73	55
18 pm	87	71	55
19 pm	85	69	55
20 pm	83	67	54
21 pm	82	66	54
22 pm	82	66	53

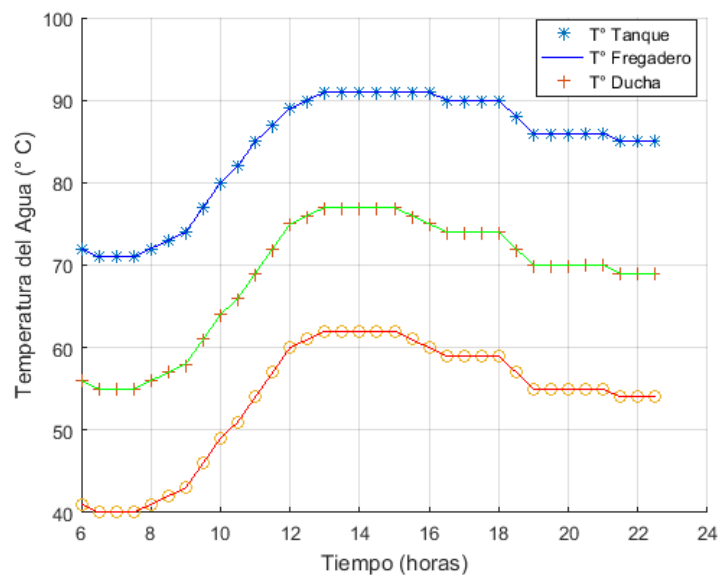
- Gráfica A.19 Temperatura vs Tiempo (25 junio 2017)



- Tabla A.20 Temperatura vs Tiempo

26 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	72	56	41
7 am	71	55	40
8 am	72	56	41
9 am	74	58	43
10 am	80	64	49
11 am	85	69	54
12 am	89	75	60
13 pm	91	77	62
14 pm	91	77	62
15 pm	91	77	62
16 pm	91	75	60
17 pm	90	74	59
18 pm	90	74	59
19 pm	86	70	55
20 pm	86	70	55
21 pm	86	70	55
22 pm	85	69	54

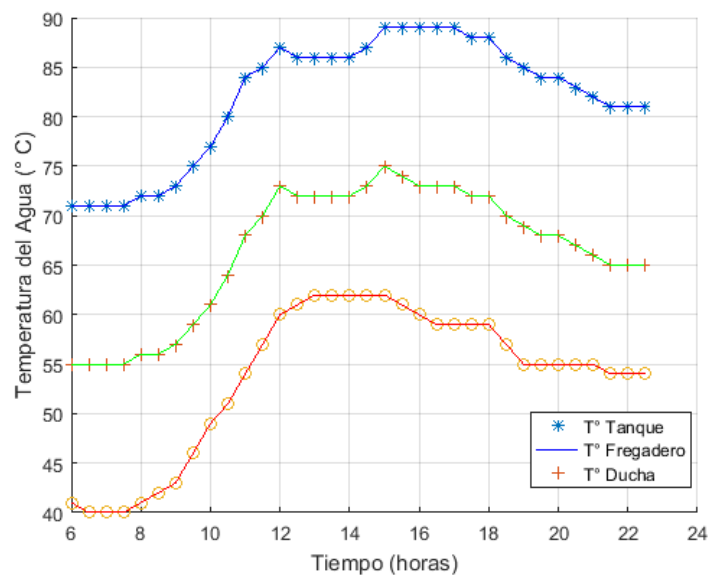
- Gráfica A.20 Temperatura vs Tiempo (26 junio 2017)



- Tabla A.21 Temperatura vs Tiempo

27 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	71	55	41
7 am	71	55	40
8 am	72	56	41
9 am	73	57	43
10 am	77	61	49
11 am	84	68	54
12 am	87	73	60
13 pm	86	72	62
14 pm	86	72	62
15 pm	89	75	62
16 pm	89	73	60
17 pm	89	73	59
18 pm	88	72	59
19 pm	85	69	55
20 pm	84	68	55
21 pm	82	66	55
22 pm	81	65	54

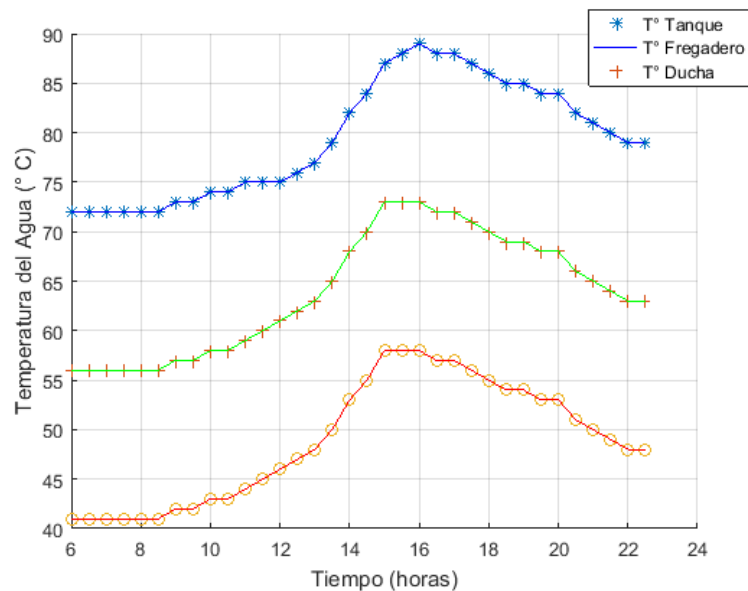
- Gráfica A.21 Temperatura vs Tiempo (27 junio 2017)



- Tabla A.22 Temperatura vs Tiempo

28 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	72	56	41
7 am	72	56	41
8 am	72	56	41
9 am	73	57	42
10 am	74	58	43
11 am	75	59	44
12 am	75	61	46
13 pm	77	63	48
14 pm	82	68	53
15 pm	87	73	58
16 pm	89	73	58
17 pm	88	72	57
18 pm	86	70	55
19 pm	85	69	54
20 pm	84	68	53
21 pm	81	65	50
22 pm	79	63	48

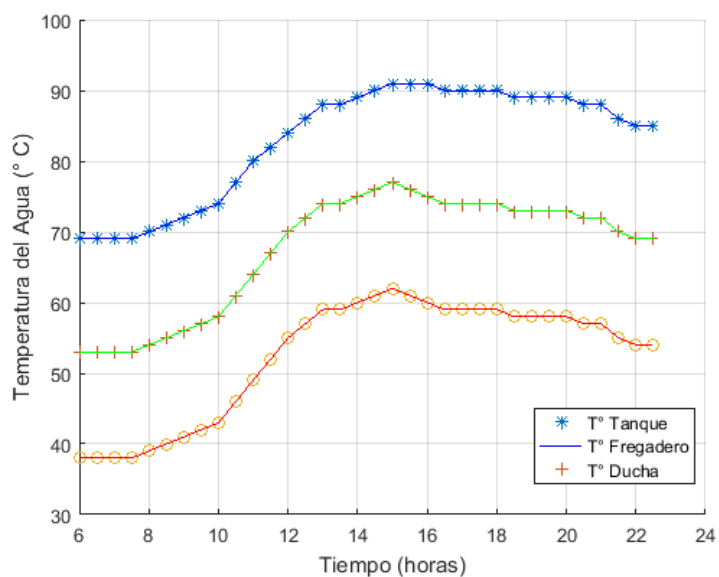
- Gráfica A.22 Temperatura vs Tiempo (28 junio 2017)



- Tabla A.23 Temperatura vs Tiempo

29 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	69	53	38
7 am	69	53	38
8 am	70	54	39
9 am	72	56	41
10 am	74	58	43
11 am	80	64	49
12 am	84	70	55
13 pm	88	74	59
14 pm	89	75	60
15 pm	91	77	62
16 pm	91	75	60
17 pm	90	74	59
18 pm	90	74	59
19 pm	89	73	58
20 pm	89	73	58
21 pm	88	72	57
22 pm	85	69	54

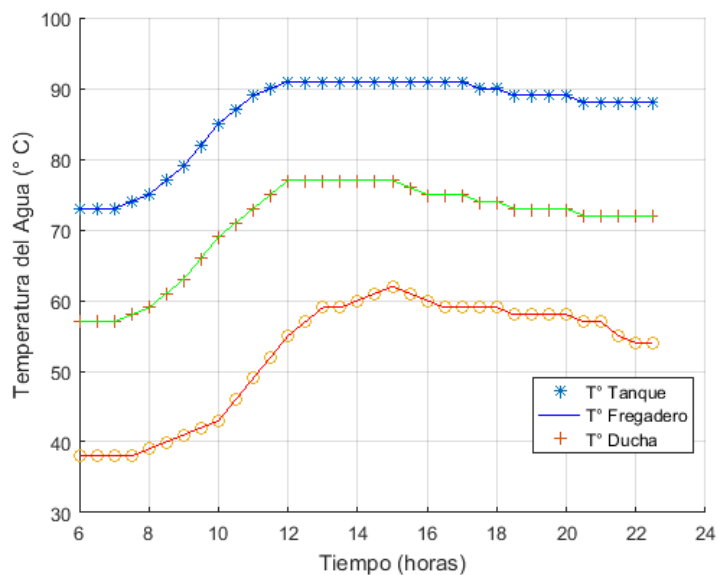
- Gráfica A.23 Temperatura vs Tiempo (29 junio 2017)



- Tabla A.24 Temperatura vs Tiempo

30 Junio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	73	57	38
7 am	73	57	38
8 am	75	59	39
9 am	79	63	41
10 am	85	69	43
11 am	89	73	49
12 am	91	77	55
13 pm	91	77	59
14 pm	91	77	60
15 pm	91	77	62
16 pm	91	75	60
17 pm	91	75	59
18 pm	90	74	59
19 pm	89	73	58
20 pm	89	73	58
21 pm	88	72	57
22 pm	88	72	54

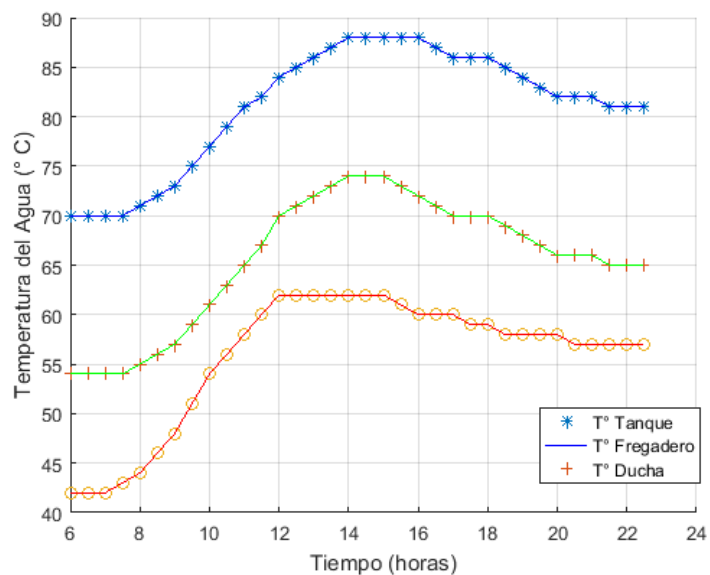
- Gráfica A.24 Temperatura vs Tiempo (30 junio 2017)



- Tabla A.25 Temperatura vs Tiempo

01 Julio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	70	54	42
7 am	70	54	42
8 am	71	55	44
9 am	73	57	48
10 am	77	61	54
11 am	81	65	58
12 am	84	70	62
13 pm	86	72	62
14 pm	88	74	62
15 pm	88	74	62
16 pm	88	72	60
17 pm	86	70	60
18 pm	86	70	59
19 pm	84	68	58
20 pm	82	66	58
21 pm	82	66	57
22 pm	81	65	57

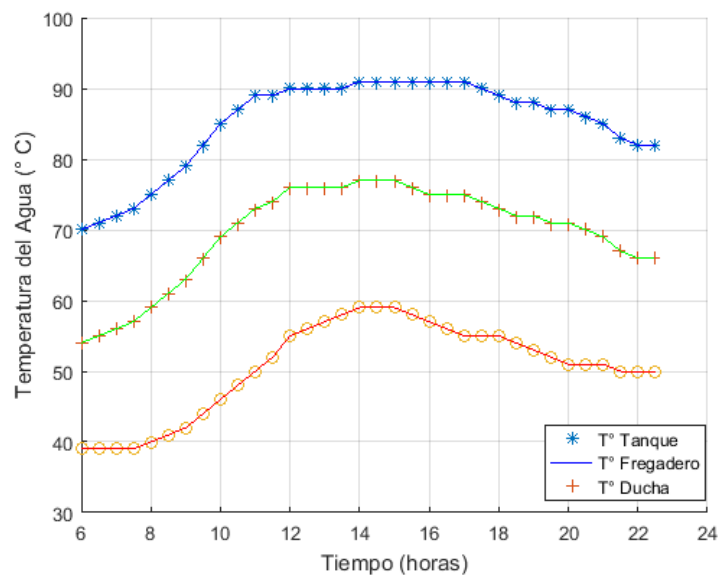
- Gráfica A.25 Temperatura vs Tiempo (01 julio 2017)



- Tabla A.26 Temperatura vs Tiempo

02 Julio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	70	54	39
7 am	72	56	39
8 am	75	59	40
9 am	79	63	42
10 am	85	69	46
11 am	89	73	50
12 am	90	76	55
13 pm	90	76	57
14 pm	91	77	59
15 pm	91	77	59
16 pm	91	75	57
17 pm	91	75	55
18 pm	89	73	55
19 pm	88	72	53
20 pm	87	71	51
21 pm	85	69	51
22 pm	82	66	50

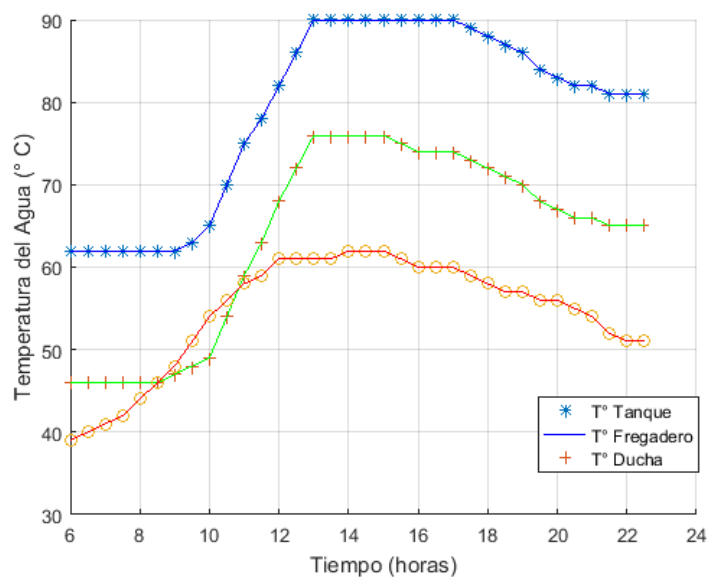
- Gráfica A.26 Temperatura vs Tiempo (02 julio 2017)



- Tabla A.27 Temperatura vs Tiempo

03 Julio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	62	46	39
7 am	62	46	41
8 am	62	46	44
9 am	62	46	48
10 am	65	49	54
11 am	75	59	58
12 am	82	68	61
13 pm	90	76	61
14 pm	90	76	62
15 pm	90	76	62
16 pm	90	74	60
17 pm	90	74	60
18 pm	88	72	58
19 pm	86	70	57
20 pm	83	67	56
21 pm	82	66	54
22 pm	81	65	51

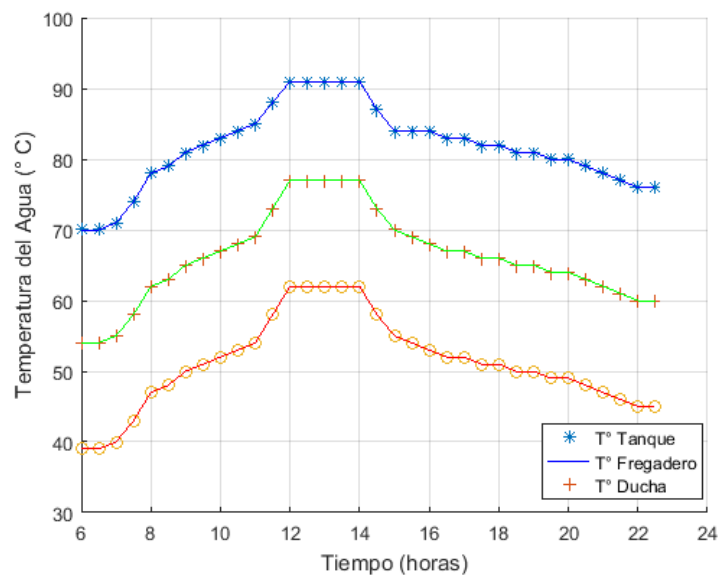
- Gráfica A.27 Temperatura vs Tiempo (03 julio 2017)



- Tabla A.28 Temperatura vs Tiempo

04 Julio 2017			
Tiempo (horas)	Temperatura tanque acumulador (°C)	Temperatura fregadero (°C)	Temperatura ducha (°C)
6 am	70	54	39
7 am	71	55	40
8 am	78	62	47
9 am	81	65	50
10 am	83	67	52
11 am	85	69	54
12 am	91	77	62
13 pm	91	77	62
14 pm	91	77	62
15 pm	84	70	55
16 pm	84	68	53
17 pm	83	67	52
18 pm	82	66	51
19 pm	81	65	50
20 pm	80	64	49
21 pm	78	62	47
22 pm	76	60	45

- Gráfica A.28 Temperatura vs Tiempo (04 julio 2017)



Anexo B Datos técnico instrumento de medición.

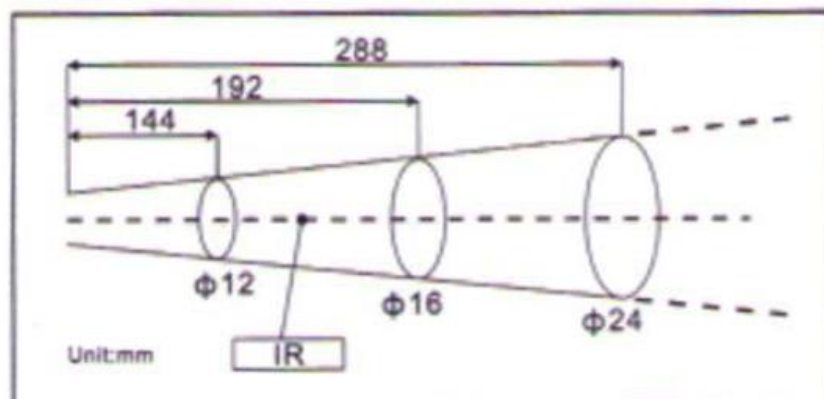
Termómetro sin contacto PCE-777

termómetro pequeño y compacto con puntero láser rojo
para la medición sin contacto, no destructiva de la temperatura de superficies



- Rápida secuencia de medición
- Indicación del valor de medición en °C o °F
- Grado de emisión fijo
- Relación de punto de medición 12 : 1
- Desconexión automática
- Alimentación por batería
- Activación del puntero láser
- Construcción compacta y robusta

D:S=12:1



Presentación esquemática de la relación de punto de medición (12 : 1) del "**termómetro sin contacto**"

Especificaciones técnicas del termómetro sin contacto

Rango de medición de temperatura	-30 ... +330 °C -58 ... +626 °F
Resolución	0,1 °C
Rango espectral	8 ... 14 µm
Precisión	±4 °C (-50 ... 0 °C) ±2 °C (0 ... +330 °C)
Punto de medición (distancia en relación al tamaño del punto de medición)	12 : 1
Grado de emisión (fijo)	0,95
Punto láser / visor láser	Visible solo un punto, potencia <1 mW, longitud de la onda 630...670 nm, clase II
Tiempo de respuesta	< 1 s
Desconexión automática	Después de 20 segundos de inactividad
Indicación sobre rango	"HI": indica exceso en el límite superior de temperatura "LO": indica exceso en el límite inferior de temperatura
Condiciones ambientales	Funcionamiento: 0 ... 50 °C, 10 ... 95 % H.r. Almacenado: -20 ... +60 °C, <80 % H.r.
Alimentación	Batería 9 V
Dimensiones	134 x 88,5 x 36 mm
Peso	145 g

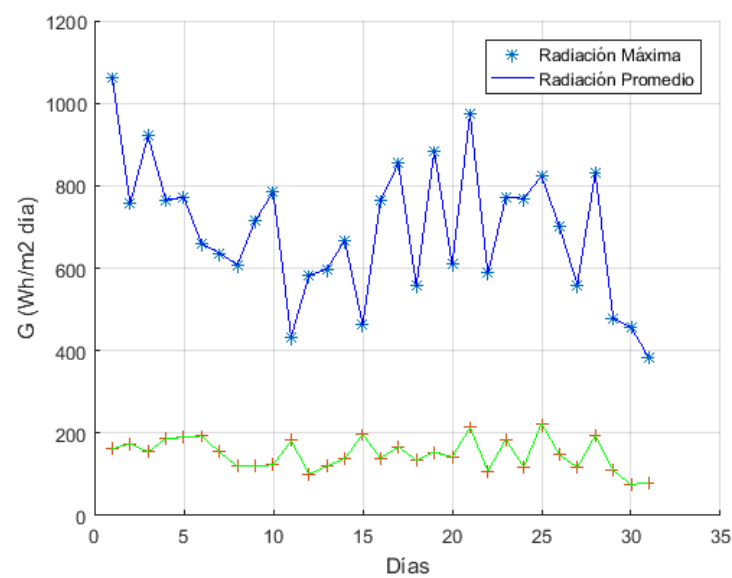
Anexo C Tablas de conductividad térmica y transferencia por convección.

Conductividad Térmica de algunos materiales a 0 °C		
Material	Conductividad térmica K	
	$\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$	$\frac{Btu}{ft \cdot ^\circ F}$
Metales		
Plata (puro)	410	237
Cobre (puro)	385	223
Aluminio (puro)	202	117
Níquel (puro)	93	54
Hierro (puro)	73	42
Acero al carbono, 1 % C	43	25
Plomo (puro)	35	20.3
Acero cromo-níquel (18% Cr, 8% Ni)	16.3	9.4
Solidos no metálicos		
Diamante	2300	1.329
Cuarzo, paralelo al eje	41.6	24
Magnesita	4.15	2.4
Mármol	2.08-2.94	1.2-1.7
Piedra arenisca	1.83	1.06
Vidrio	0.78	0.45
Arce o roble	0.17	0.096
Serrín	0.059	0.034
Lana de vidrio	0.038	0.022
Hielo	2.22	1.28
Líquidos		
Mercurio	8.21	4.74
Agua	0.556	0.327
Amoniaco	0.540	0.312
Aceite lubricante SAE 50	0.147	0.085
Freón	0.073	0.042
Gases		
Hidrogeno	0.175	0.101
Helio	0.141	0.081
Aire	0.024	0.0139
Vapor de agua (saturado)	0.0206	0.0119
Dióxido de carbono	0.0146	0.0084

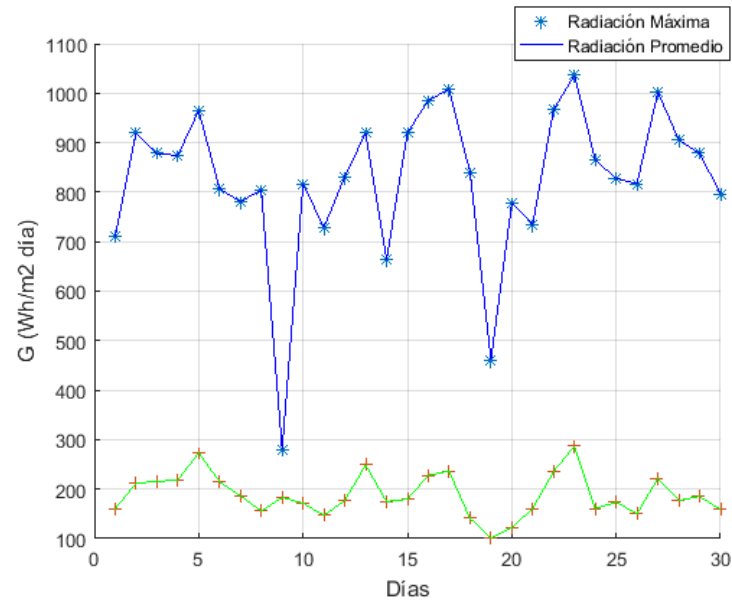
Anexo D Coeficiente típicos de transferencia de calor por convección [86, 87].

Proceso	$h \quad \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
Convección libre	
Gases	2--25
Líquidos	50--1000
Convección forzada	
Gases	25--250
Líquidos	50--20000
Convección con cambio de fase	
Ebullición o condensación	2500--100000

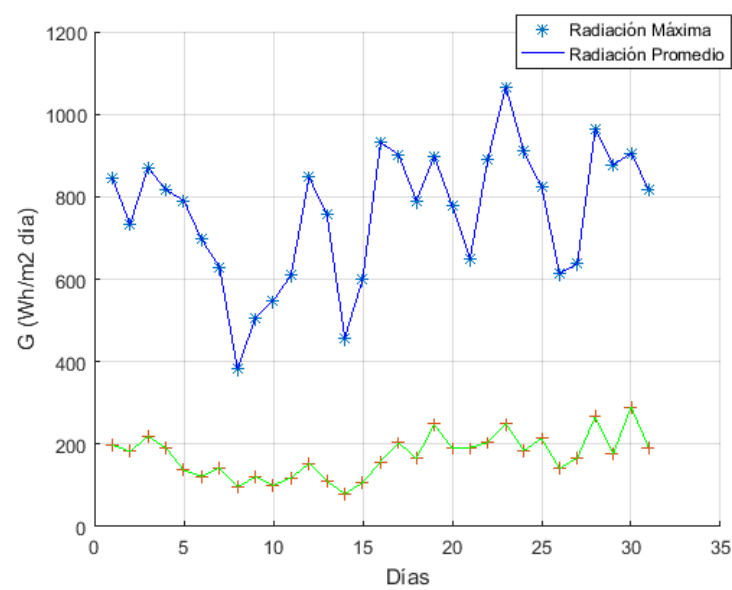
Anexo E Gráfico radiación vs tiempo (Marzo 2017).



Anexo F Gráfico radiación vs tiempo (Abril 2017).



Anexo G Gráfico radiación vs tiempo (Mayo 2017).



Anexo H Planos.